

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 3 月 3 1 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 9 6 1 6 7
Application Number:

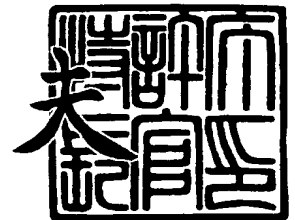
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 0 9 6 1 6 7]

出 願 人 株式会社ワコー
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 1 月 2 1 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康



【書類名】 特許願

【整理番号】 A15013

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01L 1/14

【発明者】

 【住所又は居所】 埼玉県上尾市菅谷四丁目 7 3 番地

 【氏名】 岡田 和廣

【特許出願人】

 【識別番号】 390013343

 【住所又は居所】 埼玉県上尾市菅谷四丁目 7 3 番地

 【氏名又は名称】 株式会社ワコー

【代理人】

 【識別番号】 100091476

 【住所又は居所】 東京都大田区南蒲田二丁目 6 番 1 号 ベル・シエラビル
 志村特許事務所

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 志村 浩

 【電話番号】 03-3730-5762

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 062776

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 力検出装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 検出対象となる力を受ける受力体と、

この受力体の下方に配置された支持体と、

上端が前記受力体に接続され、下端が前記支持体に可撓性をもった接続部材を介して接続された第 1 の力伝達体と、

上端が前記受力体に接続され、下端が前記支持体に可撓性をもった接続部材を介して接続された第 2 の力伝達体と、

前記第 1 の力伝達体から前記支持体に向かって加えられる力を検出する第 1 のセンサと、

前記第 2 の力伝達体から前記支持体に向かって加えられる力を検出する第 2 のセンサと、

前記第 1 のセンサの検出結果と前記第 2 のセンサの検出結果との双方を考慮して、前記受力体に作用した力もしくはモーメントを検出する処理を行う検出処理部と、

を備えることを特徴とする力検出装置。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の力検出装置において、

第 1 のセンサが、第 1 の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能を有し、

第 2 のセンサが、第 2 の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能を有することを特徴とする力検出装置。

【請求項 3】 請求項 2 に記載の力検出装置において、

X Y Z 三次元座標系を定義したときに、

第 1 の力伝達体および第 2 の力伝達体が、Z 軸方向を長手方向とする構造体によって構成されており、

第 1 のセンサが、第 1 の力伝達体の X 軸方向に関する傾斜度を検知する機能を有し、

第 2 のセンサが、第 2 の力伝達体の X 軸方向に関する傾斜度を検知する機能を

有し、

検出処理部が、第1のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度と、第2のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度と、の和に基づいて、受力体に作用した力のX軸方向成分 F_x を検出する処理を行うことを特徴とする力検出装置。

【請求項4】 請求項2に記載の力検出装置において、

X Y Z三次元座標系を定義したときに、

第1の力伝達体および第2の力伝達体が、Z軸方向を長手方向とする構造体によって構成されており、

第1のセンサが、第1の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度を検知する機能を有し、

検出処理部が、第1のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度と、第2のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度と、の差に基づいて、受力体に作用した力のZ軸まわりのモーメント M_z を検出する処理を行うことを特徴とする力検出装置。

【請求項5】 請求項1に記載の力検出装置において、

第1のセンサが、第1の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能を有することを特徴とする力検出装置。

【請求項6】 請求項5に記載の力検出装置において、

X Y Z三次元座標系を定義したときに、

第1の力伝達体および第2の力伝達体が、Z軸方向を長手方向とする構造体によって構成されており、

第1のセンサが、第1の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向

に関する力を検知する機能を有し、

検出処理部が、第1のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、第2のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、の差に基づいて、受力体に作用した力のY軸まわりのモーメント M_y を検出する処理を行うことを特徴とする力検出装置。

【請求項7】 請求項1に記載の力検出装置において、

第1のセンサが、第1の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能と、第1の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能と、を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能と、第2の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能と、を有することを特徴とする力検出装置。

【請求項8】 請求項7に記載の力検出装置において、

X Y Z三次元座標系を定義したときに、

第1の力伝達体および第2の力伝達体が、Z軸方向を長手方向とする構造体によって構成されており、

第1のセンサが、第1の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第1の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、第1の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第2の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、第2の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

検出処理部が、

第1のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度と、第2のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度と、の和に基づいて、受力体に作用した力のX軸方向成分 F_x を検出する処理を行い、

第1のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、第2のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、の和に基づいて、受力体に作用した力のZ軸方向成分 F_z を検出する処理を行い、

第1のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度と、第2のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度と、の和に基づいて、受力体に作用したX軸まわりのモーメント M_x を検出する処理を行い、

第1のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、第2のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、の差に基づいて、受力体に作用した力のY軸まわりのモーメント M_y を検出する処理を行うことを特徴とする力検出装置。

【請求項9】 請求項1に記載の力検出装置において、

上端が受力体に接続され、下端が支持体に可撓性をもった接続部材を介して接続された第3の力伝達体と、

上端が受力体に接続され、下端が支持体に可撓性をもった接続部材を介して接続された第4の力伝達体と、

前記第3の力伝達体から前記支持体に向かって加えられる力を検出する第3のセンサと、

前記第4の力伝達体から前記支持体に向かって加えられる力を検出する第4のセンサと、

を更に設け、検出処理部が、第1～第4のセンサの検出結果を考慮して、前記受力体に作用した力もしくはモーメントを検出する処理を行うことを特徴とする力検出装置。

【請求項10】 請求項9に記載の力検出装置において、

第1のセンサが、第1の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能を有し、

第3のセンサが、第3の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能を有し、

第4のセンサが、第4の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能を有することを特徴とする力検出装置。

【請求項11】 請求項10に記載の力検出装置において、

X Y Z三次元座標系を定義したときに、

第1～第4の力伝達体が、Z軸方向を長手方向とする構造体によって構成されており、

第1のセンサが、第1の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第1の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第2の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、を検知する機能を有し、

第3のセンサが、第3の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第3の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、を検知する機能を有し、

第4のセンサが、第4の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第4の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、を検知する機能を有し、

検出処理部が、

第1～第4のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度の和に基づいて、受力体に作用した力のX軸方向成分 F_x を検出する処理を行い、

第1～第4のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度の和に基づいて、受力体に作用した力のY軸方向成分 F_y を検出する処理を行うことを特徴とする力検出装置。

【請求項12】 請求項10に記載の力検出装置において、

XYZ三次元座標系を定義したときに、

第1～第4の力伝達体が、Z軸方向を長手方向とする構造体によって構成され、第1の力伝達体がXY平面の第1象限に配置され、第2の力伝達体がXY平面の第2象限に配置され、第3の力伝達体がXY平面の第3象限に配置され、第4の力伝達体がXY平面の第4象限に配置されており、

第1のセンサが、第1の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第1の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第2の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、を検知する機能を有し、

第3のセンサが、第3の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第3の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、を検知する機能を有し、

第4のセンサが、第4の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第4の力伝達

体の Y 軸方向に関する傾斜度と、を検知する機能を有し、

検出処理部が、第 3 および第 4 のセンサによって検知された X 軸方向に関する傾斜度の和と、第 1 および第 2 のセンサによって検知された X 軸方向に関する傾斜度の和と、の差を第 1 の差として求め、第 1 および第 4 のセンサによって検知された Y 軸方向に関する傾斜度の和と、第 2 および第 3 のセンサによって検知された Y 軸方向に関する傾斜度の和と、の差を第 2 の差として求め、前記第 1 の差と前記第 2 の差との和に基づいて、受力体に作用した力の Z 軸まわりのモーメント M_z を検出する処理を行うことを特徴とする力検出装置。

【請求項 13】 請求項 10 に記載の力検出装置において、

X Y Z 三次元座標系を定義したときに、

第 1 ～第 4 の力伝達体が、Z 軸方向を長手方向とする構造体によって構成され、第 1 の力伝達体の長手方向が X 軸の正の部分と交差する位置に配置され、第 2 の力伝達体の長手方向が X 軸の負の部分と交差する位置に配置され、第 3 の力伝達体の長手方向が Y 軸の正の部分と交差する位置に配置され、第 4 の力伝達体の長手方向が Y 軸の負の部分と交差する位置に配置されており、

第 1 のセンサが、第 1 の力伝達体の Y 軸方向に関する傾斜度を検知する機能を有し、

第 2 のセンサが、第 2 の力伝達体の Y 軸方向に関する傾斜度を検知する機能を有し、

第 3 のセンサが、第 3 の力伝達体の X 軸方向に関する傾斜度を検知する機能を有し、

第 4 のセンサが、第 4 の力伝達体の X 軸方向に関する傾斜度を検知する機能を有し、

検出処理部が、第 1 のセンサによって検知された Y 軸方向に関する傾斜度と第 4 のセンサによって検知された X 軸方向に関する傾斜度との和と、第 2 のセンサによって検知された Y 軸方向に関する傾斜度と第 3 のセンサによって検知された X 軸方向に関する傾斜度との和と、の差に基づいて、受力体に作用した力の Z 軸まわりのモーメント M_z を検出する処理を行うことを特徴とする力検出装置。

【請求項 14】 請求項 9 に記載の力検出装置において、

第1のセンサが、第1の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能を有し、

第3のセンサが、第3の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能を有し、

第4のセンサが、第4の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能を有することを特徴とする力検出装置。

【請求項15】 請求項14に記載の力検出装置において、

X Y Z三次元座標系を定義したときに、

第1～第4の力伝達体が、Z軸方向を長手方向とする構造体によって構成され、第1の力伝達体がX Y平面の第1象限に配置され、第2の力伝達体がX Y平面の第2象限に配置され、第3の力伝達体がX Y平面の第3象限に配置され、第4の力伝達体がX Y平面の第4象限に配置されており、

第1のセンサが、第1の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力を検知する機能を有し、

第3のセンサが、第3の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力を検知する機能を有し、

第4のセンサが、第4の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力を検知する機能を有し、

検出処理部が、第1および第2のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力の和と、第3および第4のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力の和と、の差に基づいて、受力体に作用した力のX軸まわりのモーメント M_x を検出する処理を行うことを特徴とする力検出装置。

【請求項16】 請求項15に記載の力検出装置において、

検出処理部が、更に、第1および第4のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力の和と、第2および第3のセンサによって検知されたZ軸方向に関する

力の和と、の差に基づいて、受力体に作用した力のY軸まわりのモーメント M_y を検出する処理を行うことを特徴とする力検出装置。

【請求項 17】 請求項 14 に記載の力検出装置において、

X Y Z 三次元座標系を定義したときに、

第 1 ～ 第 4 の力伝達体が、Z 軸方向を長手方向とする構造体によって構成され、第 1 の力伝達体の長手方向が X 軸の正の部分と交差する位置に配置され、第 2 の力伝達体の長手方向が X 軸の負の部分と交差する位置に配置され、第 3 の力伝達体の長手方向が Y 軸の正の部分と交差する位置に配置され、第 4 の力伝達体の長手方向が Y 軸の負の部分と交差する位置に配置されており、

第 1 のセンサが、第 1 の力伝達体全体から支持体に対して加えられる Z 軸方向に関する力を検知する機能を有し、

第 2 のセンサが、第 2 の力伝達体全体から支持体に対して加えられる Z 軸方向に関する力を検知する機能を有し、

第 3 のセンサが、第 3 の力伝達体全体から支持体に対して加えられる Z 軸方向に関する力を検知する機能を有し、

第 4 のセンサが、第 4 の力伝達体全体から支持体に対して加えられる Z 軸方向に関する力を検知する機能を有し、

検出処理部が、第 4 のセンサによって検知された Z 軸方向に関する力と、第 3 のセンサによって検知された Z 軸方向に関する力と、の差に基づいて、受力体に作用した力の X 軸まわりのモーメント M_x を検出する処理を行うことを特徴とする力検出装置。

【請求項 18】 請求項 17 に記載の力検出装置において、

検出処理部が、更に、第 1 のセンサによって検知された Z 軸方向に関する力と、第 2 のセンサによって検知された Z 軸方向に関する力と、の差に基づいて、受力体に作用した力の Y 軸まわりのモーメント M_y を検出する処理を行うことを特徴とする力検出装置。

【請求項 19】 請求項 9 に記載の力検出装置において、

第 1 のセンサが、第 1 の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能と、第 1 の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能と、を有

し、

第2のセンサが、第2の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能と、第2の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能と、を有し、

第3のセンサが、第3の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能と、第3の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能と、を有し、

第4のセンサが、第4の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能と、第4の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能と、を有することを特徴とする力検出装置。

【請求項20】 請求項19に記載の力検出装置において、

X Y Z三次元座標系を定義したときに、

第1～第4の力伝達体が、Z軸方向を長手方向とする構造体によって構成され、第1の力伝達体がX Y平面の第1象限に配置され、第2の力伝達体がX Y平面の第2象限に配置され、第3の力伝達体がX Y平面の第3象限に配置され、第4の力伝達体がX Y平面の第4象限に配置されており、

第1のセンサが、第1の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第1の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、第1の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第2の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、第2の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

第3のセンサが、第3の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第3の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、第3の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

第4のセンサが、第4の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第4の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、第4の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

検出処理部が、

第1～第4のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度の和に基づいて、受力体に作用した力のX軸方向成分 F_x を検出する処理を行い、

第1～第4のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度の和に基づいて、受力体に作用した力のY軸方向成分 F_y を検出する処理を行い、

第1～第4のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力の和に基づいて、受力体に作用した力のZ軸方向成分 F_z を検出する処理を行い、

第1および第2のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力の和と、第3および第4のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力の和と、の差に基づいて、受力体に作用した力のX軸まわりのモーメント M_x を検出する処理を行い、

第1および第4のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力の和と、第2および第3のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力の和と、の差に基づいて、受力体に作用した力のY軸まわりのモーメント M_y を検出する処理を行い、

第3および第4のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度の和と、第1および第2のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度の和と、の差を第1の差として求め、第1および第4のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度の和と、第2および第3のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度の和と、の差を第2の差として求め、前記第1の差と前記第2の差との和に基づいて、受力体に作用した力のZ軸まわりのモーメント M_z を検出する処理を行うことを特徴とする力検出装置。

【請求項21】 請求項19に記載の力検出装置において、

XYZ三次元座標系を定義したときに、

第1～第4の力伝達体が、Z軸方向を長手方向とする構造体によって構成され、第1の力伝達体の長手方向がX軸の正の部分と交差する位置に配置され、第2の力伝達体の長手方向がX軸の負の部分と交差する位置に配置され、第3の力伝達体の長手方向がY軸の正の部分と交差する位置に配置され、第4の力伝達体の長手方向がY軸の負の部分と交差する位置に配置されており、

第1のセンサが、第1の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第1の力伝達

体の Y 軸方向に関する傾斜度と、第 1 の力伝達体全体から支持体に対して加えられる Z 軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

第 2 のセンサが、第 2 の力伝達体の X 軸方向に関する傾斜度と、第 2 の力伝達体の Y 軸方向に関する傾斜度と、第 2 の力伝達体全体から支持体に対して加えられる Z 軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

第 3 のセンサが、第 3 の力伝達体の X 軸方向に関する傾斜度と、第 3 の力伝達体の Y 軸方向に関する傾斜度と、第 3 の力伝達体全体から支持体に対して加えられる Z 軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

第 4 のセンサが、第 4 の力伝達体の X 軸方向に関する傾斜度と、第 4 の力伝達体の Y 軸方向に関する傾斜度と、第 4 の力伝達体全体から支持体に対して加えられる Z 軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

検出処理部が、

第 1 ～ 第 4 のセンサによって検知された X 軸方向に関する傾斜度の和に基づいて、受力体に作用した力の X 軸方向成分 F_x を検出する処理を行い、

第 1 ～ 第 4 のセンサによって検知された Y 軸方向に関する傾斜度の和に基づいて、受力体に作用した力の Y 軸方向成分 F_y を検出する処理を行い、

第 1 ～ 第 4 のセンサによって検知された Z 軸方向に関する力の和に基づいて、受力体に作用した力の Z 軸方向成分 F_z を検出する処理を行い、

第 4 のセンサによって検知された Z 軸方向に関する力と、第 3 のセンサによって検知された Z 軸方向に関する力と、の差に基づいて、受力体に作用した力の X 軸まわりのモーメント M_x を検出する処理を行い、

第 1 のセンサによって検知された Z 軸方向に関する力と、第 2 のセンサによって検知された Z 軸方向に関する力と、の差に基づいて、受力体に作用した力の Y 軸まわりのモーメント M_y を検出する処理を行い、

第 1 のセンサによって検知された Y 軸方向に関する傾斜度と第 4 のセンサによって検知された X 軸方向に関する傾斜度との和と、第 2 のセンサによって検知された Y 軸方向に関する傾斜度と第 3 のセンサによって検知された X 軸方向に関する傾斜度との和と、の差に基づいて、受力体に作用した力の Z 軸まわりのモーメント M_z を検出する処理を行うことを特徴とする力検出装置。

【請求項 2 2】 請求項 1 ～ 2 1 のいずれかに記載の力検出装置において、各力伝達体の上端が受力体に対して可撓性をもった接続部材を介して接続されていることを特徴とする力検出装置。

【請求項 2 3】 請求項 2 2 に記載の力検出装置において、受力体を板状の部材により構成し、各力伝達体を柱状の部材により構成し、受力体と各力伝達体とを接続する接続部材を、板状の受力体の肉薄部によって構成したことを特徴とする力検出装置。

【請求項 2 4】 請求項 1 ～ 2 3 のいずれかに記載の力検出装置において、各力伝達体を柱状の部材により構成し、接続部材として機能するダイアフラムの中央に力伝達体の下面を接合し、前記ダイアフラムの周囲を支持体に固定することにより、力伝達体を支持体に接続したことを特徴とする力検出装置。

【請求項 2 5】 請求項 1 ～ 2 4 のいずれかに記載の力検出装置において、センサが、力伝達体の下端の第 1 の部分から加えられる力と、力伝達体の下端の第 2 の部分から加えられる力と、を検知する機能を有し、両者の差に基づいて、力伝達体の支持体に対する傾斜度を検知することを特徴とする力検出装置。

【請求項 2 6】 請求項 1 ～ 2 5 のいずれかに記載の力検出装置において、センサが、支持体の上面に固定された固定電極と、力伝達体の下面に応じた変位面に固定された変位電極と、によって構成される容量素子を有し、この容量素子の静電容量値に基づいて力の検出を行うことを特徴とする力検出装置。

【請求項 2 7】 請求項 2 6 に記載の力検出装置において、可撓性および導電性を有するダイアフラムを接続部材として用い、このダイアフラムの中央に力伝達体の下面を接合し、前記ダイアフラムの周囲を支持体に固定することにより、力伝達体を支持体に接続するようにし、前記ダイアフラム自身を変位電極として用いるようにしたことを特徴とする力検出装置。

【請求項 2 8】 請求項 2 7 に記載の力検出装置において、力伝達体を柱状の部材により構成し、この力伝達体の軸芯の延長線と支持体の上面との交点に原点をとった x y 二次元座標系を定義したときに、

支持体の上面における x 軸の正の部分および負の部分にそれぞれ第 1 の固定電極および第 2 の固定電極を配置し、支持体の上面における y 軸の正の部分および

負の部分にそれぞれ第3の固定電極および第4の固定電極を配置し、

ダイアフラムからなる変位電極と前記第1～第4の固定電極とによって、第1～第4の容量素子を構成し、第1の容量素子の静電容量値と第2の容量素子の静電容量値との差に基づいて、力伝達体のx軸方向に関する傾斜度を検知し、第3の容量素子の静電容量値と第4の容量素子の静電容量値との差に基づいて、力伝達体のy軸方向に関する傾斜度を検知し、検出処理部が、これらの検知結果を利用して、力もしくはモーメントを検出する処理を行うことを特徴とする力検出装置。

【請求項29】 請求項28に記載の力検出装置において、

支持体の上面における原点の位置に更に第5の固定電極を配置し、ダイアフラムからなる変位電極と前記第5の固定電極とによって、第5の容量素子を構成し、この第5の容量素子の静電容量値に基づいて、力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知し、検出処理部が、この検知結果を利用して、力もしくはモーメントを検出する処理を行うことを特徴とする力検出装置。

【請求項30】 請求項1～29のいずれかに記載の検出装置において、

受力体の支持体に対する変位を所定の範囲内に制限するための制限部材を設けたことを特徴とする力検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は力検出装置に関し、特に、力とモーメントとを独立して検出するのに適した力検出装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

ロボットや産業機械の動作制御を行うために、種々のタイプの力検出装置が利用されている。また、電子機器の入力装置のマン・マシンインターフェイスとしても、小型の力検出装置が組み込まれている。このような用途に用いる力検出装置には、小型化およびコストダウンを図るために、できるだけ構造を単純にするとともに、三次元空間内での各座標軸に関する力をそれぞれ独立して検出できる

ようにすることが要求される。

【0003】

現在、一般に利用されている多軸力検出装置は、三次元構造体に作用した力の特定の方向成分を、特定の部分に生じた変位として検出するタイプのものと、特定の部分に生じた機械的な歪みとして検出するタイプのものに分類される。前者の変位検出タイプの代表格は、静電容量素子式の力検出装置であり、一对の電極により容量素子を構成しておき、作用した力によって一方の電極に生じた変位を、容量素子の静電容量値に基づいて検出するものである。たとえば、下記の特許文献1には、この静電容量式の力検出装置が開示されている。一方、後者の歪み検出タイプの代表格は、歪みゲージ式の力検出装置であり、作用した力によって生じた機械的な歪みを、ゲージ抵抗などの電気抵抗の変化として検出するものである。たとえば、下記の特許文献2には、この歪みゲージ式の力検出装置が開示されている。

【0004】

【特許文献1】

特開平5-215627号公報

【特許文献2】

特開昭61-292029号公報

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

一般に、力検出装置の検出対象には、所定の座標軸方向を向いた力成分と、所定の座標軸まわりのモーメント成分とがある。三次元空間内にXYZ三次元座標系を定義した場合、検出対象は、各座標軸方向の力成分 F_x 、 F_y 、 F_z と、各座標軸まわりのモーメント成分 M_x 、 M_y 、 M_z との6つの成分になる。しかしながら、これらの各成分をそれぞれ独立して検出するためには、従来は、変位検出タイプのものであれ、歪み検出タイプのものであれ、かなり複雑な三次元構造体をもった力検出装置を用いる必要があった。

【0006】

そこで本発明は、できるだけ単純な構造により、力とモーメントとを区別して

検出することが可能な力検出装置を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

(1) 本発明の第1の態様は、力検出装置において、
検出対象となる力を受ける受力体と、
この受力体の下方に配置された支持体と、
上端が受力体に接続され、下端が支持体に可撓性をもった接続部材を介して接続された第1の力伝達体と、
上端が受力体に接続され、下端が支持体に可撓性をもった接続部材を介して接続された第2の力伝達体と、
第1の力伝達体から支持体に向かって加えられる力を検出する第1のセンサと、
第2の力伝達体から支持体に向かって加えられる力を検出する第2のセンサと、
第1のセンサの検出結果と第2のセンサの検出結果との双方を考慮して、受力体に作用した力もしくはモーメントを検出する処理を行う検出処理部と、
を設けるようにしたものである。

【0008】

(2) 本発明の第2の態様は、上述の第1の態様に係る力検出装置において、
第1のセンサに、第1の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能をもたせ、
第2のセンサに、第2の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能をもたせるようにしたものである。

【0009】

(3) 本発明の第3の態様は、上述の第2の態様に係る力検出装置において、
XYZ三次元座標系を定義したときに、
第1の力伝達体および第2の力伝達体が、Z軸方向を長手方向とする構造体によって構成されており、
第1のセンサが、第1の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度を検知する機能を

有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度を検知する機能を有し、

検出処理部が、第1のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度と、第2のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度と、の和に基づいて、受力体に作用した力のX軸方向成分 F_x を検出する処理を行うようにしたものである。

【0010】

(4) 本発明の第4の態様は、上述の第2の態様に係る力検出装置において、XYZ三次元座標系を定義したときに、

第1の力伝達体および第2の力伝達体が、Z軸方向を長手方向とする構造体によって構成されており、

第1のセンサが、第1の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度を検知する機能を有し、

検出処理部が、第1のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度と、第2のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度と、の差に基づいて、受力体に作用した力のZ軸まわりのモーメント M_z を検出する処理を行うようにしたものである。

【0011】

(5) 本発明の第5の態様は、上述の第1の態様に係る力検出装置において、第1のセンサに、第1の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能をもたせ、

第2のセンサに、第2の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能をもたせるようにしたものである。

【0012】

(6) 本発明の第6の態様は、上述の第5の態様に係る力検出装置において、XYZ三次元座標系を定義したときに、

第1の力伝達体および第2の力伝達体が、Z軸方向を長手方向とする構造体によって構成されており、

第1のセンサが、第1の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力を検知する機能を有し、

検出処理部が、第1のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、第2のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、の差に基づいて、受力体に作用した力のY軸まわりのモーメント M_y を検出する処理を行うようにしたものである。

【0013】

(7) 本発明の第7の態様は、上述の第1の態様に係る力検出装置において、第1のセンサに、第1の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能と、第1の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能と、をもたせ、

第2のセンサに、第2の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能と、第2の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能と、をもたせるようにしたものである。

【0014】

(8) 本発明の第8の態様は、上述の第7の態様に係る力検出装置において、XYZ三次元座標系を定義したときに、

第1の力伝達体および第2の力伝達体が、Z軸方向を長手方向とする構造体によって構成されており、

第1のセンサが、第1の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第1の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、第1の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第2の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、第2の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

検出処理部が、

第1のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度と、第2のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度と、の和に基づいて、受力体に作用した力のX軸方向成分 F_x を検出する処理を行い、

第1のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、第2のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、の和に基づいて、受力体に作用した力のZ軸方向成分 F_z を検出する処理を行い、

第1のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度と、第2のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度と、の和に基づいて、受力体に作用したX軸まわりのモーメント M_x を検出する処理を行い、

第1のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、第2のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、の差に基づいて、受力体に作用した力のY軸まわりのモーメント M_y を検出する処理を行うようにしたものである。

【0015】

(9) 本発明の第9の態様は、上述の第1の態様に係る力検出装置において、上端が受力体に接続され、下端が支持体に可撓性をもった接続部材を介して接続された第3の力伝達体と、

上端が受力体に接続され、下端が支持体に可撓性をもった接続部材を介して接続された第4の力伝達体と、

第3の力伝達体から支持体に向かって加えられる力を検出する第3のセンサと

第4の力伝達体から支持体に向かって加えられる力を検出する第4のセンサと

を更に設け、検出処理部が、第1～第4のセンサの検出結果を考慮して、受力体に作用した力もしくはモーメントを検出する処理を行うようにしたものである。

【0016】

(10) 本発明の第10の態様は、上述の第9の態様に係る力検出装置において

第1のセンサに、第1の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能をもたせ、

第2のセンサに、第2の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能をもたせ、

第3のセンサに、第3の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能をもたせ、

第4のセンサに、第4の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能をもたせるようにしたものである。

【0017】

(11) 本発明の第11の態様は、上述の第10の態様に係る力検出装置において、

X Y Z三次元座標系を定義したときに、

第1～第4の力伝達体が、Z軸方向を長手方向とする構造体によって構成されており、

第1のセンサが、第1の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第1の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第2の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、を検知する機能を有し、

第3のセンサが、第3の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第3の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、を検知する機能を有し、

第4のセンサが、第4の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第4の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、を検知する機能を有し、

検出処理部が、

第1～第4のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度の和に基づいて、受力体に作用した力のX軸方向成分 F_x を検出する処理を行い、

第1～第4のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度の和に基づいて、受力体に作用した力のY軸方向成分 F_y を検出する処理を行うようにしたものである。

【0018】

(12) 本発明の第12の態様は、上述の第10の態様に係る力検出装置において、

XYZ三次元座標系を定義したときに、

第1～第4の力伝達体が、Z軸方向を長手方向とする構造体によって構成され、第1の力伝達体がXY平面の第1象限に配置され、第2の力伝達体がXY平面の第2象限に配置され、第3の力伝達体がXY平面の第3象限に配置され、第4の力伝達体がXY平面の第4象限に配置されており、

第1のセンサが、第1の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第1の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第2の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、を検知する機能を有し、

第3のセンサが、第3の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第3の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、を検知する機能を有し、

第4のセンサが、第4の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第4の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、を検知する機能を有し、

検出処理部が、第3および第4のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度の和と、第1および第2のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度の和と、の差を第1の差として求め、第1および第4のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度の和と、第2および第3のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度の和と、の差を第2の差として求め、第1の差と第2の差との和に基づいて、受力体に作用した力のZ軸まわりのモーメント M_z を検出する処理を行うようにしたものである。

【0019】

(13) 本発明の第13の態様は、上述の第10の態様に係る力検出装置において、

XYZ三次元座標系を定義したときに、

第1～第4の力伝達体が、Z軸方向を長手方向とする構造体によって構成され、第1の力伝達体の長手方向がX軸の正の部分と交差する位置に配置され、第2の力伝達体の長手方向がX軸の負の部分と交差する位置に配置され、第3の力伝

達体の長手方向がY軸の正の部分と交差する位置に配置され、第4の力伝達体の長手方向がY軸の負の部分と交差する位置に配置されており、

第1のセンサが、第1の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度を検知する機能を有し、

第3のセンサが、第3の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度を検知する機能を有し、

第4のセンサが、第4の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度を検知する機能を有し、

検出処理部が、第1のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度と第4のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度との和と、第2のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度と第3のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度との和と、の差に基づいて、受力体に作用した力のZ軸まわりのモーメント M_z を検出する処理を行うようにしたものである。

【0020】

(14) 本発明の第14の態様は、上述の第9の態様に係る力検出装置において、

第1のセンサに、第1の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能をもたせ、

第2のセンサに、第2の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能をもたせ、

第3のセンサに、第3の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能をもたせ、

第4のセンサに、第4の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能をもたせるようにしたものである。

【0021】

(15) 本発明の第15の態様は、上述の第14の態様に係る力検出装置において、

X Y Z 三次元座標系を定義したときに、

第 1 ～ 第 4 の力伝達体が、Z 軸方向を長手方向とする構造体によって構成され、第 1 の力伝達体が X Y 平面の第 1 象限に配置され、第 2 の力伝達体が X Y 平面の第 2 象限に配置され、第 3 の力伝達体が X Y 平面の第 3 象限に配置され、第 4 の力伝達体が X Y 平面の第 4 象限に配置されており、

第 1 のセンサが、第 1 の力伝達体全体から支持体に対して加えられる Z 軸方向に関する力を検知する機能を有し、

第 2 のセンサが、第 2 の力伝達体全体から支持体に対して加えられる Z 軸方向に関する力を検知する機能を有し、

第 3 のセンサが、第 3 の力伝達体全体から支持体に対して加えられる Z 軸方向に関する力を検知する機能を有し、

第 4 のセンサが、第 4 の力伝達体全体から支持体に対して加えられる Z 軸方向に関する力を検知する機能を有し、

検出処理部が、第 1 および第 2 のセンサによって検知された Z 軸方向に関する力の和と、第 3 および第 4 のセンサによって検知された Z 軸方向に関する力の和と、の差に基づいて、受力体に作用した力の X 軸まわりのモーメント M_x を検出する処理を行うようにしたものである。

【0022】

(16) 本発明の第 16 の態様は、上述の第 15 の態様に係る力検出装置において、

検出処理部が、更に、第 1 および第 4 のセンサによって検知された Z 軸方向に関する力の和と、第 2 および第 3 のセンサによって検知された Z 軸方向に関する力の和と、の差に基づいて、受力体に作用した力の Y 軸まわりのモーメント M_y を検出する処理を行うようにしたものである。

【0023】

(17) 本発明の第 17 の態様は、上述の第 14 の態様に係る力検出装置において、

X Y Z 三次元座標系を定義したときに、

第 1 ～ 第 4 の力伝達体が、Z 軸方向を長手方向とする構造体によって構成され

、第1の力伝達体の長手方向がX軸の正の部分と交差する位置に配置され、第2の力伝達体の長手方向がX軸の負の部分と交差する位置に配置され、第3の力伝達体の長手方向がY軸の正の部分と交差する位置に配置され、第4の力伝達体の長手方向がY軸の負の部分と交差する位置に配置されており、

第1のセンサが、第1の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力を検知する機能を有し、

第3のセンサが、第3の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力を検知する機能を有し、

第4のセンサが、第4の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力を検知する機能を有し、

検出処理部が、第4のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、第3のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、の差に基づいて、受力体に作用した力のX軸まわりのモーメント M_x を検出する処理を行うようにしたものである。

【0024】

(18) 本発明の第18の態様は、上述の第17の態様に係る力検出装置において、

検出処理部が、更に、第1のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、第2のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、の差に基づいて、受力体に作用した力のY軸まわりのモーメント M_y を検出する処理を行うようにしたものである。

【0025】

(19) 本発明の第19の態様は、上述の第9の態様に係る力検出装置において、

第1のセンサに、第1の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能と、第1の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能と、をもたせ、

第2のセンサに、第2の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能と、第2の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能と、をもたせ、

第3のセンサに、第3の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能と、第3の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能と、をもたせ、

第4のセンサに、第4の力伝達体の支持体に対する傾斜状態を検知する機能と、第4の力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知する機能と、をもたせるようにしたものである。

【0026】

(20) 本発明の第20の態様は、上述の第19の態様に係る力検出装置において、

X Y Z三次元座標系を定義したときに、

第1～第4の力伝達体が、Z軸方向を長手方向とする構造体によって構成され、第1の力伝達体がX Y平面の第1象限に配置され、第2の力伝達体がX Y平面の第2象限に配置され、第3の力伝達体がX Y平面の第3象限に配置され、第4の力伝達体がX Y平面の第4象限に配置されており、

第1のセンサが、第1の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第1の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、第1の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第2の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、第2の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

第3のセンサが、第3の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第3の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、第3の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

第4のセンサが、第4の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第4の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、第4の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

検出処理部が、

第1～第4のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度の和に基づいて、受力体に作用した力のX軸方向成分 F_x を検出する処理を行い、

第1～第4のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度の和に基づいて、受力体に作用した力のY軸方向成分 F_y を検出する処理を行い、

第1～第4のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力の和に基づいて、受力体に作用した力のZ軸方向成分 F_z を検出する処理を行い、

第1および第2のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力の和と、第3および第4のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力の和と、の差に基づいて、受力体に作用した力のX軸まわりのモーメント M_x を検出する処理を行い、

第1および第4のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力の和と、第2および第3のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力の和と、の差に基づいて、受力体に作用した力のY軸まわりのモーメント M_y を検出する処理を行い、

第3および第4のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度の和と、第1および第2のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度の和と、の差を第1の差として求め、第1および第4のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度の和と、第2および第3のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度の和と、の差を第2の差として求め、第1の差と第2の差との和に基づいて、受力体に作用した力のZ軸まわりのモーメント M_z を検出する処理を行うようにしたものである。

【0027】

(21) 本発明の第21の態様は、上述の第19の態様に係る力検出装置において、

XYZ三次元座標系を定義したときに、

第1～第4の力伝達体が、Z軸方向を長手方向とする構造体によって構成され、第1の力伝達体の長手方向がX軸の正の部分と交差する位置に配置され、第2の力伝達体の長手方向がX軸の負の部分と交差する位置に配置され、第3の力伝

達体の長手方向がY軸の正の部分と交差する位置に配置され、第4の力伝達体の長手方向がY軸の負の部分と交差する位置に配置されており、

第1のセンサが、第1の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第1の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、第1の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

第2のセンサが、第2の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第2の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、第2の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

第3のセンサが、第3の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第3の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、第3の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

第4のセンサが、第4の力伝達体のX軸方向に関する傾斜度と、第4の力伝達体のY軸方向に関する傾斜度と、第4の力伝達体全体から支持体に対して加えられるZ軸方向に関する力と、を検知する機能を有し、

検出処理部が、

第1～第4のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度の和に基づいて、受力体に作用した力のX軸方向成分 F_x を検出する処理を行い、

第1～第4のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度の和に基づいて、受力体に作用した力のY軸方向成分 F_y を検出する処理を行い、

第1～第4のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力の和に基づいて、受力体に作用した力のZ軸方向成分 F_z を検出する処理を行い、

第4のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、第3のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、の差に基づいて、受力体に作用した力のX軸まわりのモーメント M_x を検出する処理を行い、

第1のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、第2のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、の差に基づいて、受力体に作用した力のY軸まわりのモーメント M_y を検出する処理を行い、

第1のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度と第4のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度との和と、第2のセンサによって検知さ

れたY軸方向に関する傾斜度と第3のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度との和と、の差に基づいて、受力体に作用した力のZ軸まわりのモーメント M_z を検出する処理を行うようにしたものである。

【0028】

(22) 本発明の第22の態様は、上述の第1～第21の態様に係る力検出装置において、

各力伝達体の上端を、受力体に対して可撓性をもった接続部材を介して接続するようにしたものである。

【0029】

(23) 本発明の第23の態様は、上述の第22の態様に係る力検出装置において、

受力体を板状の部材により構成し、各力伝達体を柱状の部材により構成し、受力体と各力伝達体とを接続する接続部材を、板状の受力体の肉薄部によって構成するようにしたものである。

【0030】

(24) 本発明の第24の態様は、上述の第1～第23の態様に係る力検出装置において、

各力伝達体を柱状の部材により構成し、接続部材として機能するダイアフラムの中央に力伝達体の下面を接合し、ダイアフラムの周囲を支持体に固定することにより、力伝達体を支持体に接続するようにしたものである。

【0031】

(25) 本発明の第25の態様は、上述の第1～第24の態様に係る力検出装置において、

センサに、力伝達体の下端の第1の部分から加えられる力と、力伝達体の下端の第2の部分から加えられる力と、を検知する機能をもたせ、両者の差に基づいて、力伝達体の支持体に対する傾斜度を検知するようにしたものである。

【0032】

(26) 本発明の第26の態様は、上述の第1～第25の態様に係る力検出装置において、

センサを、支持体の上面に固定された固定電極と、力伝達体の下面に応じた変位面に固定された変位電極と、によって構成される容量素子によって構成し、この容量素子の静電容量値に基づいて力の検出を行うようにしたものである。

【0033】

(27) 本発明の第27の態様は、上述の第26の態様に係る力検出装置において、

可撓性および導電性を有するダイアフラムを接続部材として用い、このダイアフラムの中央に力伝達体の下面を接合し、ダイアフラムの周囲を支持体に固定することにより、力伝達体を支持体に接続するようにし、ダイアフラム自身を変位電極として用いるようにしたものである。

【0034】

(28) 本発明の第28の態様は、上述の第27の態様に係る力検出装置において、

力伝達体を柱状の部材により構成し、この力伝達体の軸芯の延長線と支持体の上面との交点に原点をとった x y 二次元座標系を定義したときに、

支持体の上面における x 軸の正の部分および負の部分にそれぞれ第1の固定電極および第2の固定電極を配置し、支持体の上面における y 軸の正の部分および負の部分にそれぞれ第3の固定電極および第4の固定電極を配置し、

ダイアフラムからなる変位電極と第1～第4の固定電極とによって、第1～第4の容量素子を構成し、第1の容量素子の静電容量値と第2の容量素子の静電容量値との差に基づいて、力伝達体の x 軸方向に関する傾斜度を検知し、第3の容量素子の静電容量値と第4の容量素子の静電容量値との差に基づいて、力伝達体の y 軸方向に関する傾斜度を検知し、検出処理部が、これらの検知結果を利用して、力もしくはモーメントを検出する処理を行うようにしたものである。

【0035】

(29) 本発明の第29の態様は、上述の第28の態様に係る力検出装置において、

支持体の上面における原点の位置に更に第5の固定電極を配置し、ダイアフラムからなる変位電極と第5の固定電極とによって、第5の容量素子を構成し、こ

の第5の容量素子の静電容量値に基づいて、力伝達体全体から支持体に対して加えられる力を検知し、検出処理部が、この検知結果を利用して、力もしくはモーメントを検出する処理を行うようにしたものである。

【0036】

(30) 本発明の第30の態様は、上述の第1～第29の態様に係る力検出装置において、

受力体の支持体に対する変位を所定の範囲内に制限するための制限部材を設けるようにしたものである。

【0037】

【発明の実施の形態】

以下、本発明を図示する実施形態に基づいて説明する。

【0038】

<<< §1. 基本概念 >>>

はじめに、本発明に係る力検出装置の基本概念を説明する。図1に示すとおり、本発明に係る力検出装置の基本構成要素は、受力体10、第1の力伝達体11、第2の力伝達体12、支持体20、第1のセンサ21、第2のセンサ22、検出処理部30である。

【0039】

受力体10は、検出対象となる力を受ける構成要素であり、ここでは説明の便宜上、この受力体10の中心位置に原点Oを定義し、図示のとおり、XYZ三次元座標系を定義している。図示の例では、任意形状をした受力体10が描かれているが、後述する具体的な実施例では、板状の受力体10が用いられている。受力体10に作用する力の成分は、この座標系における各座標軸方向の力成分 F_x 、 F_y 、 F_z と各座標軸まわりのモーメント成分 M_x 、 M_y 、 M_z である。この図1に示す力検出装置では、後述するように、これら6つの力成分のうち、 F_x 、 F_z 、 M_x 、 M_y の4成分の検出が可能である。

【0040】

なお、本願では、「力」という文言は、特定の座標軸方向の力を意味する場合と、モーメント成分を含めた集合的な力を意味する場合とを、適宜使い分けるこ

とにする。たとえば、図1において、力 F_x 、 F_y 、 F_z と言った場合は、モーメントではない各座標軸方向の力成分を意味しているが、6つの力 F_x 、 F_y 、 F_z 、 M_x 、 M_y 、 M_z と言った場合は、各座標軸方向の力成分と各座標軸まわりのモーメント成分とを含む集合的な力を意味することになる。

【0041】

支持体20は、受力体10の下方に配置され、受力体10を支持する機能を果たす構成要素である。図示の例では、板状の支持体20が描かれているが、支持体20は必ずしも板状の形態をとる必要はない。ただ、後述するように、第1のセンサ21および第2のセンサ22によって、各座標軸 X 、 Y 、 Z に関する力の検出を行う上では、前述した XYZ 三次元座標系における XY 平面に平行な上面を有する支持体20を用いるのが好ましく、実用上は、板状形態にするのが好ましい。ここでは、説明の便宜上、支持体20の上面に、 xy 平面を定義することにする。この小文字で示す xy 平面は、大文字で示す XY 平面に平行な平面となっており、 x 軸と X 軸とは平行、 y 軸と Y 軸とは平行である。

【0042】

第1の力伝達体11および第2の力伝達体12は、受力体10と支持体20とを接続する部材であり、 Z 軸に沿って配置された構造体であり、しかもこの2本は、 x 軸上に所定間隔をおいて並んで配置されている。図示の例では、これら力伝達体11、12は、いずれも柱状の構造体となっているが、原理的には任意の形状をもった構造体で構成してかまわない。ただ、実用上は、図示のような柱状の構造体にするのが、単純な構造を実現する上で好ましい。また、実用上は、第1の力伝達体11と第2の力伝達体12は、全く同じ材質、全く同じサイズにするのが好ましい。これは、両者の材質やサイズを同一にしておけば、第1のセンサ21および第2のセンサ22による検出感度を同一にすることができるためである。両者の材質やサイズが異なると、両センサの感度を同一にそろえることが困難になり、感度補正のための工夫が必要になる。

【0043】

ここで重要な点は、各力伝達体11、12の上端が、受力体10に対して、可撓性をもった接続部材（図には示されていない）を介して接続されており、各力

伝達体 11, 12 の下端が、支持体 20 に対して、可撓性をもった接続部材（図には示されていない）を介して接続されている点である。要するに、第 1 の力伝達体 11 および第 2 の力伝達体 12 は、受力体 10 に対しても、支持体 20 に対しても、可撓性をもって接続されていることになる。ここで、可撓性とは弾力性と同義であり、受力体 10 に対して何ら力が作用していない状態では、受力体 10 は支持体 20 に対して定位置をとるが、受力体 10 に何らかの力が作用すると、可撓性をもった接続部材が弾性変形を生じ、受力体 10 と支持体 20 との相対位置に変化が生じることになる。もちろん、受力体 10 に作用する力がなくなると、受力体 10 はもとどおりの定位置に戻る。

【0044】

結局、図 1 に示す例の場合、柱状の第 1 の力伝達体 11 および第 2 の力伝達体 12 の上端部および下端部が、それぞれ可撓性をもった接続部材によって構成されていることになる（もちろん、第 1 の力伝達体 11 および第 2 の力伝達体 12 の全体が可撓性をもった材料により構成されていてもかまわない）。そして、この接続部材が、ある程度の弾性変形を生じるため、第 1 の力伝達体 11 および第 2 の力伝達体 12 は、受力体 10 や支持体 20 に対して傾斜することができる。また、この接続部材は、図の上下方向（Z 軸方向）にも伸縮することが可能であり、受力体 10 を図の上方向（+Z 軸方向）に動かすと、接続部材が伸び、受力体 10 と支持体 20 との距離は広がり、逆に、受力体 10 を図の下方向（-Z 軸方向）に動かすと、接続部材が縮み、受力体 10 と支持体 20 との距離は狭まることになる。もちろん、このような変位や傾斜の度合いは、受力体 10 に作用した力の大きさに応じて大きくなる。

【0045】

第 1 のセンサ 21 は、第 1 の力伝達体 11 から支持体 20 に向かって加えられる力を検出する力センサであり、第 2 のセンサ 22 は、第 2 の力伝達体 12 から支持体 20 に向かって加えられる力を検出する力センサである。上述したように、受力体 10 に力が作用すると、この力は、第 1 の力伝達体 11 および第 2 の力伝達体 12 を介して、支持体 20 へと伝達されることになる。第 1 のセンサ 21 および第 2 のセンサ 22 は、こうして伝達される力を検出する機能を有しており

、より具体的には、後に詳述するように、力伝達体が傾斜することにより生じる力を検出することにより、力伝達体の傾斜度を検知する機能と、力伝達体全体が、支持体に対して加える押圧力（図の下方－Z軸方向の力）もしくは引っ張り力（図の上方＋Z軸方向の力）を検知する機能と、を有している。

【0046】

検出処理部30は、第1のセンサ21の検出結果と第2のセンサ22の検出結果との双方を考慮して、受力体10に作用した力もしくはモーメントを検出する処理を行う構成要素である。実際には、上述した力伝達体の傾斜度や、支持体に対して加えられる押圧力／引っ張り力に基づいて、力やモーメントの検出が行われる。その具体的な方法については後述する。

【0047】

続いて、図2の正面図を参照しながら、図1に示す力検出装置の基本的な動作原理を説明する。図2(a)は、この力検出装置に何ら力が作用していない状態を示しており、受力体10は、支持体20に対して定位置を維持している。もちろん、この状態においても、受力体10などの重量が支持体20上に加わっているので、支持体20は、第1の力伝達体11や第2の力伝達体12から、何らかの力を受けているが、この状態で受けている力は定常状態での力であり、このような力が第1のセンサ21や第2のセンサ22によって検出されたとしても、検出処理部30から出力される力やモーメントの検出値は0になる。別言すれば、検出処理部30は、このような定常状態における各センサ21、22の検出結果を基準として、何らかの変化が生じた場合には、この変化を受力体10に作用した力もしくはモーメントとして検出する機能を有している。

【0048】

さて、ここでは、まず図2(b)に示すように、受力体10に対して、X軸正方向の力 $+F_x$ が作用した場合を考えてみる。ちょうど原点Oの位置を、図の右方向へと押すような力が加わった場合に相当する。この場合、図示のとおり、受力体10は図の右方向へとスライド運動することになり、第1の力伝達体11および第2の力伝達体12は、図の右方向へと傾斜することになる。ここでは、このときの第1の力伝達体11の傾斜度を θ_1 、第2の力伝達体12の傾斜度を θ_2

と呼ぶことにする。また、このように XZ 平面内における x 軸に向かう方向への傾斜の程度を示す角度 θ_1 , θ_2 を、「X 軸方向に関する傾斜度」と呼ぶことにする。同様に、YZ 平面内における y 軸に向かう方向への傾斜の程度を示す角度を、「Y 軸方向に関する傾斜度」と呼ぶ。図示の場合、2 本の力伝達体 11, 12 は、x 軸上に並んで配置されているので、Y 軸方向の傾斜度は 0 である。

【0049】

なお、各力伝達体 11, 12 が傾斜すると、受力体 10 と支持体 20 との距離は若干縮まることになるので、厳密に言えば、受力体 10 は X 軸方向に完全な平行移動を行うわけではなく、わずかながら -Z 軸方向への移動も行うことになるが、傾斜度が比較的小さい場合、-Z 軸方向への移動量は無視することができるので、ここでは説明の便宜上、受力体 10 が X 軸方向のみに移動したものと考えることにする。

【0050】

一方、図 2(c) に示すように、受力体 10 に対して、Y 軸まわりのモーメント +M_y が作用した場合を考えてみよう。図 2(c) において、Y 軸は紙面の裏側へに向かう垂直方向の軸であるから、図では、モーメント +M_y は、原点 O を中心に、受力体 10 全体を時計まわりの方向に回転させるような力に相当する。なお、本願では、所定の座標軸の正方向に右ネジを進める場合の当該右ネジの回転方向を、当該座標軸まわりの正のモーメントと定義することにする。さて、この場合、図示のとおり、第 1 の力伝達体 11 については伸張力が作用し、第 2 の力伝達体 12 については縮小力が作用することになる。その結果、第 1 の力伝達体 11 から支持体 20 に対しては、引っ張り力（+Z 軸方向の力：ここでは、力 +f_z と示すことにする）が作用し、第 2 の力伝達体 12 から支持体 20 に対しては、押圧力（-Z 軸方向の力：ここでは、力 -f_z と示すことにする）が作用する。

【0051】

このように、本発明に係る力検出装置では、受力体 10 に X 軸方向の力 F_x が作用した場合と、Y 軸まわりのモーメント M_y が作用した場合とでは、2 本の力伝達体 11, 12 を介して支持体 20 に伝達される力の態様が異なることになる

。したがって、両者を区別して、それぞれ別個に検出することが可能である。

【0052】

すなわち、X軸方向の力 F_x が作用した場合は、図2(b)に示すように、2本の力伝達体11、12は、X軸方向に傾斜し、傾斜度 θ_1 、 θ_2 を生じることになり、このような傾斜に応じた力が支持体20へと伝達される。ここで、第1の力伝達体11および第2の力伝達体12と、これを支持体20に接続するための可撓性をもった接続部材とを、同一材料、同一サイズにしておき、この力検出装置が、図のZ軸に関して左右対称となる構造にしておけば、傾斜度 $\theta_1 = \theta_2$ になる。よって両者の和($\theta_1 + \theta_2$)は、X軸方向の力 F_x を示す値になる。傾斜度 θ に符号を付して取り扱えば(たとえば、X軸正方向への傾斜の場合を正、X軸負方向への傾斜の場合を負として取り扱えば)、作用したX軸方向の力 F_x を符号を含めて検出することが可能である。

【0053】

もっとも、本発明では、後述するように、第1の力伝達体11および第2の力伝達体12の傾斜度は、第1のセンサ21および第2のセンサ22によって、支持体20に加えられる力として検出されることになる。このような検出を行うには、各力伝達体から支持体20に対して加えられる力を、個々の部分ごとに検知すればよい。たとえば、図2(b)において、第1の力伝達体11と支持体20との接続部分に生じる応力を考えてみると、第1の力伝達体11の底部の右側部分と左側部分とでは、生じる応力の向きが異なることがわかる。すなわち、図示の例では、第1の力伝達体11は右側に傾斜しているので、第1の力伝達体11の底部の右側部分については押圧力が生じ、支持体20の上面を下方に押圧する力が生じているのに対し、左側部分については引っ張り力が生じ、支持体20の上面を上方へ引っ張り上げる力が生じている。このように第1の力伝達体11の底部の左右の各部における応力の相違を検出することにより、第1の力伝達体11の傾斜度を得ることができる。その具体的な方法については、§2で詳述する。

【0054】

結局、本発明に係る力検出装置によって、X軸方向の力 F_x を検出するには、第1のセンサ21には、第1の力伝達体11の支持体20に対するx軸方向への

傾斜状態を検知する機能をもたせておき、第2のセンサ22には、第2の力伝達体12の支持体20に対するx軸方向への傾斜状態を検知する機能をもたせておけばよい。第1のセンサ21が、第1の力伝達体11のX軸方向に関する傾斜度 θ_1 を検知する機能を有し、第2のセンサ22が、第2の力伝達体12のX軸方向に関する傾斜度を検知する機能を有していれば、検出処理部30は、第1のセンサ21によって検知されたX軸方向に関する傾斜度 θ_1 と、第2のセンサ22によって検知されたX軸方向に関する傾斜度 θ_2 と、の和に基づいて、受力体10に作用した力のX軸方向成分 F_x を検出する処理を行うことができる。

【0055】

一方、Y軸まわりのモーメント M_y が作用した場合は、図2(c)に示すように、2本の力伝達体11、12から支持体20に対して、引っ張り力 $+f_z$ と押圧力 $-f_z$ とが伝達される。このようにして伝達される力は、力伝達体が傾斜した場合の力とは異なっている。すなわち、図2(b)に示すように力伝達体が傾斜した場合は、その底部に生じる応力は、右側部分と左側部分とで異なるものとなった。ところが、図2(c)に示すようにモーメント M_y が作用した場合は、第1の力伝達体11全体により引っ張り力 $+f_z$ が加えられ、第2の力伝達体12全体により押圧力 $-f_z$ が加えられることになる。

【0056】

このように、X軸方向の力 F_x の作用に対しては、図2(b)に示すように、第1の力伝達体11および第2の力伝達体12に関して、同じ方向への傾斜という同等の事象が生じるのに対して、Y軸まわりのモーメント M_y の作用に対しては、図2(c)に示すように、第1の力伝達体11および第2の力伝達体12に関して、一方は引っ張り力 $+f_z$ を与え、他方は押圧力 $-f_z$ を与えるという相反する事象が生じることになる。したがって、作用したモーメント M_y は、引っ張り力 $+f_z$ と押圧力 $-f_z$ との差、すなわち、 $(+f_z) - (-f_z) = 2f_z$ として求めることができる。

【0057】

要するに、本発明に係る力検出装置によって、Y軸まわりのモーメント M_y を検出するには、第1のセンサ21には、第1の力伝達体11全体から支持体20

に対して加えられる力を検知する機能をもたせ、第2のセンサ22には、第2の力伝達体12全体から支持体20に対して加えられる力を検知する機能をもたせておけばよい。第1のセンサ21が、第1の力伝達体11全体から支持体20に対して加えられるZ軸方向に関する力を検知する機能を有し、第2のセンサ22が、第2の力伝達体12全体から支持体20に対して加えられるZ軸方向に関する力を検知する機能を有していれば、検出処理部30は、第1のセンサ21によって検知されたZ軸方向に関する力と、第2のセンサ22によって検知されたZ軸方向に関する力と、の差に基づいて、受力体10に作用した力のY軸まわりのモーメント M_y を検出する処理を行うことができる。

【0058】

<<< §2. 本発明に用いる力センサ >>>

図1に示す力検出装置には、第1のセンサ21および第2のセンサ22が設けられている。これらのセンサは、それぞれ第1の力伝達体11および第2の力伝達体12から支持体20に対して加えられる力を検出する力センサであるが、図2で説明した原理に基づいて、力 F_x およびモーメント M_y を検出するためには、各力伝達体11、12の傾斜により生じる力と、力伝達体11、12全体によって与えられる引っ張り力／押圧力と、をそれぞれ独立して検出する機能が必要になる。

【0059】

本願発明者は、このような機能をもったセンサとしては、静電容量素子式の多軸力センサが最も適していると考えている。図3は、このような静電容量素子式の多軸力センサの一例を示す側断面図である。この多軸力センサ自身は、既に公知のセンサであり、種々の分野で実用されているものであるが、ここでは便宜上、この多軸力センサの基本構造および動作を簡単に説明しておく。

【0060】

図3の側断面図に示すとおり、この多軸力センサは、板状の支持体40と、その上に配置された碗状接続部材50と、力伝達体60と、支持体40の上面に配置された固定電極E1～E5と、によって構成されている。図4の上面図に示すとおり、碗状接続部材50は、円形の平底状の碗を伏せた形状を有している。こ

ここでは、説明の便宜上、支持体 40 の上面中心部に原点 O をとり、図示の方向に x , y , z 軸をそれぞれ定義した $x y z$ 三次元座標系を定義する。腕状接続部材 50 は、図 3 の側断面図に示されているとおり、腕の平底部分に相当する円板状のダイアフラム 51 と、その周囲を支持する円筒状の側壁部 52 と、この側壁部 52 を支持体 40 の上面に固定するための固定部 53 と、の各部から構成されており、ダイアフラム 51 の上面中央部には、円柱状の力伝達体 60 が接続されている。この円柱状の力伝達体 60 の軸芯の延長線と支持体 40 の上面との交点位置に原点 O が定義されていることになる。

【0061】

ここで、この例の場合、支持体 40 および力伝達体 60 は、十分な剛性をもっているが、腕状接続部材 50 は、可撓性（別言すれば、弾性変形を生じる性質）を有している。この例では、腕状接続部材 50 は、金属の薄板によって構成されており、支持体 40 および力伝達体 60 は絶縁体材料によって構成されている。

【0062】

図 5 の上面図に示されているとおり、板状の支持体 40 の上面には、5 枚の固定電極 E1～E5 が形成されている。ここで、固定電極 E1 は x 軸の正の部分に配置され、固定電極 E2 は x 軸の負の部分に配置され、固定電極 E3 は y 軸の正の部分に配置され、固定電極 E4 は y 軸の負の部分に配置されており、いずれも各座標軸に関して線対称となる扇形をした同一形状、同一サイズの電極になっている。一方、固定電極 E5 は原点 O の位置に配置された円形の電極である。図 5 に破線で示すのは、この支持体 40 の上に固定される腕状接続部材 50 の各部の位置である。図示のとおり、ダイアフラム 51 は、各固定電極 E1～E5 のすべてに対向するように、支持体 40 の上方に配置されることになる。前述したとおり、ダイアフラム 51 を金属板などの導電性材料で構成しておけば、ダイアフラム 51 は、可撓性および導電性を有することになり、それ自身が 1 枚の共通変位電極として機能し、対向する各固定電極 E1～E5 との間で容量素子を形成することになる。ここでは、各固定電極 E1～E5 と、共通変位電極として機能するダイアフラム 51 とによって構成される 5 組の容量素子を、それぞれ容量素子 C1～C5 と呼ぶことにする。

【0063】

続いて、力伝達体60に種々の方向成分をもった力が作用した場合に、腕状接続部材50がどのように変形し、各容量素子C1～C5の静電容量値にどのような変化が生じるかを考えてみる。

【0064】

まず、図6に示すように、力伝達体60の上部に、 x 軸正方向への力 $+f_x$ が加えられた場合を考える。この場合、力伝達体60を右側へと傾斜させる力が働くことになり、可撓性をもった腕状接続部材50は、図のように変形し、ダイアフラム51は、右側部分が下方に、左側部分が上方に、それぞれ移動するように傾斜する。その結果、容量素子C1の両電極（固定電極E1とダイアフラム51）の距離は狭まり、静電容量値は増加するが、容量素子C2の両電極（固定電極E2とダイアフラム51）の距離は広まり、静電容量値は減少する。このとき、他の3組の容量素子C3～C5については、右半分については電極間距離が狭まるが、左半分については電極間距離が広まるため、トータルでの静電容量値は変化しない。

【0065】

なお、このような変形は、力伝達体60の下部に、 x 軸正方向への力 $+f_{x'}$ が加えられた場合も同様である。もっとも、この原理により、 $+f_x$ の大きさと $+f_{x'}$ の大きさとが等しい場合であっても、前者の方がより大きな変形を生じさせることになる。

【0066】

一方、図7に示すように、力伝達体60の上部に、 x 軸負方向への力 $-f_x$ が加えられた場合を考える。この場合、力伝達体60を左側へと傾斜させる力が働くことになり、可撓性をもった腕状接続部材50は、図のように変形し、ダイアフラム51は、左側部分が下方に、右側部分が上方に、それぞれ移動するように傾斜する。その結果、容量素子C1の静電容量値は減少し、容量素子C2の静電容量値は増加する。

【0067】

結局、力伝達体60に対して作用した x 軸方向の力 f_x は、第1の容量素子C

1 の静電容量値と第 2 の容量素子 C 2 の静電容量値との差として求めることができる。求めた差の大きさは作用した力の大きさを示し、求めた差の符号は作用した力の方向を示すものになる。全く同様の原理により、力伝達体 60 に対して作用した y 軸方向の力 f_y は、第 3 の容量素子 C 3 の静電容量値と第 4 の容量素子 C 4 の静電容量値との差として求めることができる。

【0068】

ところで、こうして求めた力 f_x は、柱状の力伝達体 60 の x 軸方向に関する傾斜度を示すものであり、力 f_y は、柱状の力伝達体 60 の y 軸方向に関する傾斜度を示すものに他ならない。結局、力伝達体 60 の x 軸方向に関する傾斜度は、第 1 の容量素子 C 1 の静電容量値と第 2 の容量素子 C 2 の静電容量値との差として求めることができ、力伝達体 60 の y 軸方向に関する傾斜度は、第 3 の容量素子 C 3 の静電容量値と第 4 の容量素子 C 4 の静電容量値との差として求めることができる。別言すれば、力伝達体 60 の下端の第 1 の部分から加えられる力と、力伝達体の下端の第 2 の部分から加えられる力と、の差に基づいて、力伝達体 60 の支持体 40 に対する傾斜度を検知することができる。

【0069】

続いて、図 8 に示すように、力伝達体 60 に対して、z 軸負方向への力 $-f_z$ が加えられた場合を考える。この場合、力伝達体 60 全体に対して、図の下方への力が加わることになるので、力伝達体 60 は傾斜することなしに、力伝達体 60 全体により、腕状接続部材 50 に対して下方への押圧力を作用させることになり、可撓性をもった腕状接続部材 50 は、図のように変形し、5 組の容量素子 C 1 ~ C 5 のすべての電極間隔が狭まり、静電容量値が増加する。逆に、力伝達体 60 を上方へと引き上げる力 $+f_z$ が加えられた場合は、力伝達体 60 全体により、腕状接続部材 50 に対して上方への引っ張り力が働くことになり、5 組の容量素子 C 1 ~ C 5 のすべての電極間隔が広まり、静電容量値が減少する。

【0070】

結局、力伝達体 60 に対して z 軸方向の力 f_z のみが作用している環境下では、第 1 ~ 第 5 の容量素子 C 1 ~ C 5 のいずれかの静電容量値を検出すれば、作用した力 f_z を求めることができる。ただし、他の軸方向成分の力 f_x , f_y が混

在する環境下では、たとえば、容量素子C1の静電容量値を単独で求めたり、容量素子C3の静電容量値を単独で求めたりしても、これらは必ずしもz軸方向の力 f_z を示す値にはならない。どのような環境下においても、z軸方向の力 f_z を検出するためには、容量素子C5の静電容量値を利用すればよい。上述したように、x軸方向の力 f_x やy軸方向の力 f_y が作用した場合は、容量素子C5の静電容量値には変化は生じないので、容量素子C5の静電容量値を利用すれば、z軸方向の力 f_z のみを独立して検出することが可能になる。

【0071】

もっとも、z軸方向の力 f_z のみを独立して検出するためには、別な方法をとることも可能である。たとえば、容量素子C1の静電容量値と容量素子C2の静電容量値との和を求め、これをz軸方向の力 f_z の検出値として利用することも可能である。x軸方向の力 f_x の作用に対しては、容量素子C1の静電容量値の増減と容量素子C2の静電容量値の増減は相補的な関係にあるため、両者の和をとることにより、x軸方向の力 f_x の成分を相殺することができ、z軸方向の力 f_z の検出値のみを取り出すことができる。同様に、容量素子C3の静電容量値と容量素子C4の静電容量値との和を求め、これをz軸方向の力 f_z の検出値として利用することも可能である。更に、4組の容量素子C1～C4の静電容量値の和や、5組の容量素子C1～C5の静電容量値の和を求め、これをz軸方向の力 f_z の検出値として利用することも可能である。したがって、固定電極E5（容量素子C5）は、必ずしも設ける必要はない。

【0072】

以上述べたとおり、図3に示す多軸力センサを用いれば、力伝達体60のx軸方向に関する傾斜度（力 f_x ）と、力伝達体60のy軸方向に関する傾斜度（力 f_y ）と、力伝達体60全体から支持体40に対して加えられる力（力 f_z ）と、を検出することが可能である。これは、この図3に示す多軸力センサが、図1に示す力検出装置における第1のセンサ21および第2のセンサ22として利用できるセンサであることを意味している。もちろん、本発明に係る力検出装置に用いるセンサは、この図3に示すタイプのセンサに限定されるわけではないが、この図3に示すタイプのセンサは、構造が単純で量産に適しているため、本発明

に係る力検出装置に利用するセンサとしては最適である。

【0073】

<<< § 3. 本発明の第1の実施形態 >>>

続いて、本発明の第1の実施形態に係る力検出装置の主たる構造部分を、図9～図12を用いて説明し、更に、この装置の動作原理を、図13～図15を用いて説明する。

【0074】

図9は、この第1の実施形態に係る力検出装置の主たる構造部分を、XZ平面に沿って切断した状態を示す側断面図であり、図10はその上面図である。図9に示されているとおり、この力検出装置の基本的な構成要素は、受力体100、中間体200、支持体300であり、いずれも上面が正形状をした板状の部材を基本形態としている。

【0075】

受力体100は、図10に示すとおり、基本的には、上面が正形状をした板状部材であるが、下面からは、2本の円柱突起部110、120が下方へと伸びている。図11は、この受力体100をXY平面で切断した状態を示す横断面図である。図示のとおり、円柱突起部110、120の付け根部分の周囲には、円環状の溝部G11、G12が形成されており、この溝部G11、G12の形成により、板状の受力体100には、図9および図10に示すように、可撓性をもった肉薄部115、125が形成されている。結局、円柱突起部110、120は、肉薄部115、125を介して、板状の受力体100に接続されていることになる。

【0076】

一方、支持体300は、図12に示すように、上面が正形状をした完全な板状部材であり、その上面には、固定電極E11～E15およびE21～E25が配置されている。この支持体300の上面に接合された中間体200は、基本的には、上面が正形状をした板状部材であるが、図9に示すように、上面からは、2本の円柱突起部210、220が上方へと伸びている。この円柱突起部210、220の付け根部分の周囲には、円環状の溝部G21、G22が形成されて

おり、更に、この中間体 200 の下面には、円柱状の溝部 G31, G32 が形成されている。中間体 200 の上面に設けられた溝部 G21, G22 と、下面に設けられた溝部 G31, G32 とは、いずれも円柱突起部 210, 220 の中心軸の位置を中心とした同サイズの円形の輪郭を有している。図示のとおり、溝部 G21 と G31 との間には、ダイアフラム 215 が境界壁として存在し、溝部 G22 と G32 との間には、ダイアフラム 225 が境界壁として存在する。

【0077】

受力体 100 側から下方に伸びた 2 本の円柱突起部 110, 120 の下面は、中間体 200 側から上方に伸びた 2 本の円柱突起部 210, 220 の上面に接合されている。ここでは、円柱突起部 110 と円柱突起部 210 とを接合することにより構成される円柱状の構造体を第 1 の力伝達体 T1 と呼び、円柱突起部 120 と円柱突起部 220 とを接合することにより構成される円柱状の構造体を第 2 の力伝達体 T2 と呼ぶことにする（ここでは、説明の便宜上、X 軸正方向に配置された力伝達体を第 1、X 軸負方向に配置された力伝達体を第 2 とする）。結局、第 1 の力伝達体 T1 の上端は、可撓性をもった肉薄部 115 を接続部材として受力体 100 に接続されており、第 2 の力伝達体 T2 の上端は、可撓性をもった肉薄部 125 を接続部材として受力体 100 に接続されていることになる。

【0078】

また、第 1 の力伝達体 T1 の下面は、接続部材として機能するダイアフラム 215 の中央に接合されており、ダイアフラム 215 の周囲は、中間体 200 を介して支持体 300 に接続されており、第 2 の力伝達体 T2 の下面は、接続部材として機能するダイアフラム 225 の中央に接合されており、ダイアフラム 225 の周囲は、中間体 200 を介して支持体 300 に接続されている。

【0079】

図示の実施形態では、受力体 100 は絶縁性基板（たとえば、セラミック基板）、中間体 200 は導電性基板（たとえば、ステンレス、アルミニウム、チタンなどの金属基板）、支持体 300 は絶縁性基板（たとえば、セラミック基板）によって構成されている。もちろん、各部の材質はこれらに限定されるものではなく、たとえば、受力体 100 を、ステンレス、アルミニウム、チタンなどの金属

基板で構成してもかまわない。肉薄部 115, 125 やダイアフラム 215, 225 は、基板の他の部分に比べて肉厚を薄くすることにより可撓性をもつように構成された部分である。

【0080】

ダイアフラム 215, 225 は、導電性材料から構成されているため、可撓性を有するとともに導電性を有しており、それ自身が共通変位電極としての機能を果たす。これは、図 3 に示す多軸力センサの構成と全く同様である。すなわち、図 12 の右側に示されている固定電極 E11 ~ E15 と、図 12 の左側に示されている固定電極 E21 ~ E25 は、いずれも図 5 に示されている固定電極 E1 ~ E5 と等価な構成要素であり、図 9 に示すダイアフラム 215, 225 は、いずれも図 3 に示されているダイアフラム 51 と等価な構成要素である。したがって、図 9 に示す溝 G31 の周辺および溝 G32 の周辺には、それぞれ図 3 に示す多軸力センサと同等の機能をもったセンサ S1, S2 が構成されていることになる。ここで、センサ S1 は、第 1 の力伝達体 T1 の X 軸方向に関する傾斜度と、Y 軸方向に関する傾斜度と、第 1 の力伝達体 T1 全体から支持体 300 に対して加えられる Z 軸方向に関する力と、を検知する機能を有しており、センサ S2 は、第 2 の力伝達体 T2 の X 軸方向に関する傾斜度と、Y 軸方向に関する傾斜度と、第 2 の力伝達体 T2 全体から支持体 300 に対して加えられる Z 軸方向に関する力と、を検知する機能を有している。

【0081】

こうしてみると、結局、図 9 に示す力検出装置は、図 1 に示す力検出装置とほぼ同等の構成要素を備えていることがわかる。すなわち、板状の受力体 100 は受力体 10 に対応し、第 1 の力伝達体 T1 は第 1 の力伝達体 11 に対応し、第 2 の力伝達体 T2 は第 2 の力伝達体 12 に対応し、板状の支持体 300 は支持体 20 に対応し、センサ S1 は第 1 のセンサ 21 に対応し、センサ S2 は第 2 のセンサ 22 に対応する。したがって、この図 9 に示す構造体に、更に、検出処理部 30 を付加すれば、図 1 に示した力検出装置を実現することができる。

【0082】

なお、図 1 に示す力検出装置を用いれば、受力体 10 に作用した X 軸方向の力

F_x (図 2 (b) 参照) と、受力体 10 に作用した Y 軸まわりのモーメント M_y (図 2 (c) 参照) とを検出することができることを述べたが、実際には、更に、Z 軸方向の力 F_z 、X 軸まわりのモーメント M_x 、および Z 軸まわりのモーメント M_z を検出することが可能であり、結局、図 1 の上方に示す 6 つの力成分のうち、 F_x 、 F_z 、 M_x 、 M_y 、 M_z の 5 成分を独立して検出することが可能である。以下、その理由を、図 9 に示す力検出装置の動作とともに説明する。

【0083】

いま、図 12 に示す 10 枚の固定電極 $E_{11} \sim E_{15}$ 、 $E_{21} \sim E_{25}$ と、これに対向する共通変位電極 (ダイアフラム 215, 225) と、によって構成される 10 組の容量素子を、それぞれ $C_{11} \sim C_{15}$ 、 $C_{21} \sim C_{25}$ と呼ぶことにする。図 12 に括弧で示した $C_{11} \sim C_{25}$ は、各固定電極によって構成される個々の容量素子を示している。また、図 9 に示す受力体 100 内の所定位置に原点 O をとり、図示のとおり、XYZ 三次元座標系を定義する。そして、この受力体 100 に対して、X 軸正方向の力 $+F_x$ 、同負方向の力 $-F_x$ 、Z 軸正方向の力 $+F_z$ 、同負方向の力 $-F_z$ 、X 軸まわりの正方向のモーメント $+M_x$ 、同負方向のモーメント $-M_x$ 、Y 軸まわりの正方向のモーメント $+M_y$ 、同負方向のモーメント $-M_y$ 、Z 軸まわりの正方向のモーメント $+M_z$ 、同負方向のモーメント $-M_z$ がそれぞれ作用した場合に、10 組の各容量素子 $C_{11} \sim C_{25}$ の静電容量値の変化を考えてみる。

【0084】

図 13 は、このときの各容量素子 $C_{11} \sim C_{25}$ の静電容量値の変化の態様を示すテーブルであり、「0」は変化なし、「+」は増加、「-」は減少を示している。各容量素子の静電容量値が、このテーブルのように変化する理由は、図 6 ~ 図 8 に示す多軸力センサの変形態様を見れば理解できよう。たとえば、受力体 100 に対して、X 軸正方向の力 $+F_x$ が作用すると、第 1 の力伝達体 T1 と第 2 の力伝達体 T2 は、いずれも図 9 の右方向 (X 軸正方向) に傾斜することになるので、容量素子 C_{11} 、 C_{21} の電極間隔は狭まり、静電容量値が増加するのに対して、容量素子 C_{12} 、 C_{22} の電極間隔は広がり、静電容量値が減少する。他の容量素子については、電極間隔は一部は広がり、一部は狭まるため、トー

タルでは静電容量値の変化は生じない。図13のテーブルの第1行目（ $+F_x$ の行）は、各容量素子 $C_{11} \sim C_{25}$ についてのこのような静電容量値の変化を示している。

【0085】

逆に、 X 軸負方向の力 $-F_x$ が作用すると、第1の力伝達体 T_1 と第2の力伝達体 T_2 は、いずれも図9の左方向（ X 軸負方向）に傾斜することになるので、静電容量値の増減変化の関係が逆転し、図13のテーブルの第2行目（ $-F_x$ の行）に示すような変化態様が得られる。

【0086】

また、受力体100に対して、 Z 軸正方向の力 $+F_z$ が作用すると、第1の力伝達体 T_1 と第2の力伝達体 T_2 は、いずれも支持体300の上面に対して引っ張り力を作用させることになるので、全容量素子 $C_{11} \sim C_{15}$ の電極間隔は広がり、静電容量値は減少する。図13のテーブルの第3行目（ $+F_z$ の行）は、このような変化を示している。逆に、受力体100に対して、 Z 軸負方向の力 $-F_z$ が作用すると、第1の力伝達体 T_1 と第2の力伝達体 T_2 は、いずれも支持体300の上面に対して押圧力を作用させることになるので、全容量素子 $C_{11} \sim C_{15}$ の電極間隔は狭まり、静電容量値は増加する。図13のテーブルの第4行目（ $-F_z$ の行）は、このような変化を示している。

【0087】

一方、受力体100に対して、 X 軸まわりの正方向のモーメント $+M_x$ が作用すると、図9において、第1の力伝達体 T_1 と第2の力伝達体 T_2 には、紙面を境界として、紙面より奥の部分については上方への力が加わり、紙面より手前の部分については下方への力が加わることになる。すなわち、図10に示す上面図において、点 P_3 は上方（ Z 軸正方向）に移動し、点 P_4 は下方（ Z 軸負方向）に移動する。その結果、図12に示す容量素子 C_{13} 、 C_{23} の電極間隔は広まり、静電容量値は減少するが、容量素子 C_{14} 、 C_{24} の電極間隔は狭まり、静電容量値は増加する。他の容量素子については、電極間隔は一部は広がり、一部は狭まるため、トータルでは静電容量値の変化は生じない。図13のテーブルの第5行目（ $+M_x$ の行）は、各容量素子 $C_{11} \sim C_{25}$ についてのこのような静

電容量値の変化を示している。X軸まわりの負方向のモーメント $-M_x$ が作用すると、増減関係が逆転し、図13のテーブルの第6行目($-M_x$ の行)に示すような結果が得られる。

【0088】

そして、受力体100に対して、Y軸まわりの正方向のモーメント $+M_y$ が作用すると、図9において、第1の力伝達体T1に対しては、下方への力が加わることになるが、第2の力伝達体T2に対しては、上方への力が加わることになる。すなわち、図10に示す上面図において、点P1は下方(Z軸負方向)に移動し、点P2は上方(Z軸正方向)に移動する。その結果、センサS1を構成する5組の容量素子C11~C15の電極間隔はいずれも狭まり、静電容量値は増加するが、センサS2を構成する5組の容量素子C21~C25の電極間隔はいずれも広まり、静電容量値は減少する。図13のテーブルの第7行目($+M_y$ の行)は、各容量素子C11~C25についてのこのような静電容量値の変化を示している。Y軸まわりの負方向のモーメント $-M_y$ が作用すると、増減関係が逆転し、図13のテーブルの第8行目($-M_y$ の行)に示すような結果が得られる。

【0089】

また、受力体100に対して、Z軸まわりの正方向のモーメント $+M_z$ が作用すると、図9において、第1の力伝達体T1に対しては、y軸正方向へ傾斜させる力が加わることになるが、第2の力伝達体T2には、y軸負方向へ傾斜させる力が加わることになる。その結果、図12に示す各センサを構成する容量素子のうち、C13およびC24の電極間隔は狭まり、静電容量値は増加するが、C14およびC23の電極間隔は広まり、静電容量値は減少する。他の容量素子については、電極間隔は一部は広がり、一部は狭まるため、トータルでは静電容量値の変化は生じない。図13のテーブルの第9行目($+M_z$ の行)は、各容量素子についてのこのような静電容量値の変化を示している。Z軸まわりの負方向のモーメント $-M_z$ が作用すると、増減関係が逆転し、図13のテーブルの第10行目($-M_z$ の行)に示すような結果が得られる。

【0090】

この図13のテーブルに示すような結果が得られることを踏まえると、検出処

理部 30 として、10 組の容量素子 $C_{11} \sim C_{25}$ の静電容量値（ここでは、静電容量の値自身も、同じ符号 $C_{11} \sim C_{25}$ で示すことにする）を測定する回路と、測定した各静電容量値を用いて、図 14 に示す式に基づく演算を行う処理装置を用意しておけば、 F_x 、 F_z 、 M_x 、 M_y 、 M_z の 5 成分を得ることができることが理解できよう。

【0091】

たとえば、図 14 に示す $F_x = (C_{11} - C_{12}) + (C_{21} - C_{22})$ なる式は、図 13 のテーブルの第 1～2 行目（ $+F_x$ および $-F_x$ の行）の結果を踏まえたものであり、第 1 のセンサ 21 によって検知された第 1 の力伝達体 T1 の X 軸方向に関する傾斜度と、第 2 のセンサ 22 によって検知された第 2 の力伝達体 T2 の X 軸方向に関する傾斜度と、の和に基づいて、受力体 100 に作用した力の X 軸方向成分 F_x が検出できることを意味している。これは、図 2 (b) に示す検出原理に基づくものである。

【0092】

また、図 14 に示す $F_z = -(C_{15} + C_{25})$ なる式は、図 13 のテーブルの第 3～4 行目（ $+F_z$ および $-F_z$ の行）の結果を踏まえたものであり、第 1 のセンサによって検知された第 1 の力伝達体 T1 の Z 軸方向に関する力と、第 2 のセンサによって検知された第 2 の力伝達体 T2 の Z 軸方向に関する力と、の和に基づいて、受力体 100 に作用した力の Z 軸方向成分 F_z が検出できることを意味している。なお、先頭にマイナス符号がついているのは、装置の上方向を Z 軸正方向にとったためである。

【0093】

更に、図 14 に示す $M_x = -((C_{13} - C_{14}) + (C_{23} - C_{24}))$ なる式は、図 13 のテーブルの第 5～6 行目（ $+M_x$ および $-M_x$ の行）の結果を踏まえたものであり、第 1 のセンサ 21 によって検知された第 1 の力伝達体 T1 の Y 軸方向に関する傾斜度と、第 2 のセンサ 22 によって検知された第 2 の力伝達体 T2 の Y 軸方向に関する傾斜度と、の和に基づいて、受力体 100 に作用した力の X 軸まわりのモーメント M_x が検出できることを意味している。ここでも先頭にマイナス符号がついているのは、モーメントの向きのとり方によるもので

ある。

【0094】

また、図14に示す $M_y = (C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14} + C_{15}) - (C_{21} + C_{22} + C_{23} + C_{24} + C_{25})$ なる式は、図13のテーブルの第7～8行目（ $+M_y$ および $-M_y$ の行）の結果を踏まえたものであり、第1のセンサによって検知された第1の力伝達体T1のZ軸方向に関する力と、第2のセンサによって検知された第2の力伝達体T2のZ軸方向に関する力と、の差に基づいて、受力体100に作用した力のY軸まわりのモーメント M_y が検出できることを意味している。これは、図2(c)に示す検出原理に基づくものである。

【0095】

最後に、図14に示す $M_z = ((C_{13} - C_{14}) - (C_{23} - C_{24}))$ なる式は、図13のテーブルの第9～10行目（ $+M_z$ および $-M_z$ の行）の結果を踏まえたものであり、第1のセンサ21によって検知された第1の力伝達体T1のY軸方向に関する傾斜度と、第2のセンサ22によって検知された第2の力伝達体T2のY軸方向に関する傾斜度と、の差に基づいて、受力体100に作用した力のZ軸まわりのモーメント M_z が検出できることを意味している。

【0096】

なお、図14の第2の式（ F_z の式）では、第1のセンサによって検知された第1の力伝達体T1のZ軸方向に関する力として、 C_{15} なる1つの容量素子の静電容量値を用いているのに対し、図14の第4の式（ M_y の式）では、同じく、第1のセンサによって検知された第1の力伝達体T1のZ軸方向に関する力として、 $(C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14} + C_{15})$ なる5つの容量素子の静電容量値の総和を用いている。これは、§2で述べたとおり、図3に示すタイプの多軸力センサを用いて、Z軸方向に関する力を求める方法に複数通りのバリエーションがあることを示したものである。したがって、たとえば、図14の第2の式は、 $F_z = -((C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14} + C_{15}) + (C_{21} + C_{22} + C_{23} + C_{24} + C_{25}))$ としてもかまわない。同様に、図14の第4の式は、 $M_y = (C_{15} - C_{25})$ としてもかまわない。もちろん、 $F_z = -((C_{11} + C_{12}) + (C_{21} + C_{22}))$ 、 $F_z = -((C_{11} + C_{12} + C$

$13 + C14) + (C21 + C22 + C23 + C24))$ 、 $M_y = (C13 + C14 + C15) - (C23 + C24 + C25)$ 、その他何通りかのバリエーションを用いることも可能である。

【0097】

なお、この図9に示す第1の実施形態では、受力体100に作用したY軸方向の力 F_y を検出することはできない。これは、第1の力伝達体T1と第2の力伝達体T2とが、XZ平面上に配置されているためである（もっとも、近似的に、X軸まわりのモーメント M_x をY軸方向の力 F_y に代用することは可能である）。成分 F_y を含めた全6成分を検出するためには、後述する第2および第3の実施形態で説明するように、4本の柱状力伝達体を利用する必要がある。

【0098】

ここで、留意しておくべき点は、本発明に係る技術思想は、「図3に示すような従来から公知の多軸力センサを、単に2組用いることにより、検出精度を高めるようにする」という技術とは全く次元が異なる点である。一般に、何らかの測定器を用いた測定を行う場合に、「同じ測定器を複数台設置し、それぞれの測定結果の平均をとることにより、測定精度を向上させる」という手法は常套手段であり、古くから様々な分野において利用されてきている。

【0099】

しかしながら、図2に示す本発明の基本概念は、「2台のセンサを用いて検出精度を向上させる」という技術思想ではなく、「所定の座標軸方向の力と、所定の座標軸まわりのモーメントを正確に区別して検出する」という技術思想にある。ここでは、この点について、もう少し詳しい補足説明を行っておく。

【0100】

まず、図6に示すように、従来から公知の多軸力センサを用いて、x軸正方向の力 $+f_x$ を検出することを考えよう。このような多軸力センサを開示した一般的な公知文献では、この図6に示す原理により、「容量素子C1（固定電極E1とダイアフラム51）の静電容量値C1と、容量素子C2（固定電極E2とダイアフラム51）の静電容量値C2と、の差（ $C1 - C2$ ）を求めることにより、力伝達体60に作用した力のX軸方向成分 f_x を求めることができる」旨の説明

がなされている。しかしながら、この説明は、厳密な意味では正しくない。なぜなら、静電容量値の差 ($C_1 - C_2$) は、実は、作用した力 f_x それ自身ではなく、作用した力 f_x に起因して生じた y 軸まわりのモーメント M_y になっているからである。

【0101】

これは、図6に示すように、力伝達体60の異なる位置に、2通りの力 $+f_x$ と $+f_{x'}$ とを加えた場合に、どのような出力値が得られるかを考えれば、容易に理解できよう。図示の例において、 $+f_x = +f_{x'}$ であったとしても、静電容量値の差 ($C_1 - C_2$) として得られる出力値は、 $+f_x$ を加えた場合の方が、 $+f_{x'}$ を加えた場合に比べて大きくなる。これは、 $+f_x$ を加えた場合の方が、この検出系に対して大きなモーメントを与えることができるためである。要するに、この図6に示すセンサでは、 x 軸方向の力 f_x や y 軸方向の力 f_y を直接検出することはできず、それぞれ y 軸まわりのモーメント M_y や x 軸まわりのモーメント M_x として検出するしかないのである。

【0102】

もっとも、力 f_x を作用させる力伝達体60上の位置が、常に定位置となるように決めておけば、 y 軸まわりのモーメント M_y を x 軸方向の力 f_x として取り扱っても支障は生じない。このため、力とモーメントとを区別して取り扱う必要のない検出対象については、この図6に示す力センサを、 x 軸方向の力 f_x や y 軸方向の力 f_y の検出に利用しても、実用上、大きな支障が生じないことになる。

【0103】

しかしながら、ロボットや産業機械の動作制御などへの用途では、力とモーメントとをはっきり区別して検出することが可能な力検出装置の需要も決して少なくない。本発明に係る力検出装置は、正に、このような用途に適した装置ということができる。たとえば、図9に示す力検出装置を、ロボットの腕と手首との関節部分として利用するのであれば、支持体300を腕側に取り付け、受力体100を手首側に取り付ければよい。そうすれば、腕に対して手首側に加えられた力およびモーメントを検出することが可能である。

【0104】

ここでは、図9に示す本発明に係る力検出装置を用いて、図15に示すような検出形態で力の検出を行う場合を考えてみよう。図15に示す力検出装置は、図9に示す力検出装置の受力体100の上面に、更に、円柱状突起150を接続したものである。ここで、図示のとおり、この円柱状突起150の所定位置に、2通りの力 $+F_x$ と $+F_{x'}$ とを加えた場合を考えてみる。この場合、力 $+F_x$ および $+F_{x'}$ は、いずれもX軸正方向を向いた力であるが、円柱状突起150の異なる位置に作用しているため、受力体100に対して異なる大きさのモーメント（Y軸まわりの正方向のモーメント $+M_y$ ）を生じさせることになる。

【0105】

いま、円柱状突起150の図の位置に力 $+F_x$ を作用させたとすると、受力体100には、X軸方向の力 $+F_x$ とY軸まわりのモーメント $+M_y$ との双方が作用することになるが、本発明に係る力検出装置では、図14の式に示されているとおり、力 F_x とモーメント M_y とは、別個独立して検出することができる。したがって、力 F_x を円柱状突起150のどの位置に作用させようとも、この力検出装置で検出される力 F_x の値は常に等しくなる。したがって、図示の例において、 $+F_x = +F_{x'}$ であれば、この力検出装置によるX軸方向の力の検出値は同じになる。もちろん、このときのY軸まわりのモーメント M_y の検出値は異なる。なお、このように力 F_x に起因して生じるモーメントの座標軸の位置は、この装置各部の構造や寸法に基づいて定まる。

【0106】

このように、図6に示す従来の力センサが、X軸方向の力をY軸まわりのモーメントとしてしか検出できなかったのに対し、図9に示す本発明に係る力検出装置では、X軸方向の力 F_x とY軸まわりのモーメント M_y とを明確に区別して検出することができる。これが本発明の重要な特徴である。

【0107】

<<< §4. 本発明の第2の実施形態 >>>

次に、本発明の第2の実施形態に係る力検出装置を説明する。図16は、この第2の実施形態に係る力検出装置の主たる構造部分の上面図であり、図17は、

この図16に示す力検出装置を切断線17-17に沿って切断した断面を示す側断面図である。なお、この図16に示す力検出装置を切断線9-9に沿って切断した断面は、図9と同様になる。上述した第1の実施形態に係る力検出装置との相違点は、柱状の力伝達体を4本設けた点にあり、その他の構造や材質は、第1の実施形態に係る力検出装置と全く同様である。すなわち、装置全体は、いずれも上面が正形状の板状の受力体100、中間体200、支持体300なる構造体によって構成されている。

【0108】

図16の上面図に示されているとおり、受力体100は、基本的には、上面が正形状をした板状部材であるが、下面からは、同一サイズの4本の円柱突起部110、120、130、140が下方へと伸びている。ここで、各円柱突起部110、120、130、140は、図示のように、受力体100の中心位置に原点をもつXY二次元座標系を定義した場合、それぞれ第1、第2、第3、第4象限に配置されている。より詳細に説明すれば、「原点を中心とする位置に配置され、受力体100の輪郭より小さく、縦横がX軸およびY軸に平行な正方形」の4頂点の位置に、それぞれ中心軸の位置がくるように、各円柱突起部110、120、130、140が配置されている。また、これら円柱突起部110、120、130、140の付け根部分の周囲には、円環状の溝部G11、G12、G13、G14が形成されており、この溝部G11、G12、G13、G14の形成により、板状の受力体100には、可撓性をもった肉薄部115、125、135、145が形成されている。結局、円柱突起部110、120、130、140は、肉薄部115、125、135、145を介して、板状の受力体100に接続されていることになる。

【0109】

一方、支持体300は、図18に示すように、上面が正形状をした完全な板状部材であり、その上面には、固定電極E11~E15、E21~E25、E31~E35、E41~E45が配置されている。この支持体300の上面に接合された中間体200は、基本的には、上面が正形状をした板状部材であるが、上面からは、4本の円柱突起部210、220、230、240が上方へと伸び

ている（図9および図17参照）。この4本の円柱突起部210, 220, 230, 240の付け根部分の周囲には、円環状の溝部G21, G22, G23, G24が形成されており、更に、この中間体200の下面には、円柱状の溝部G31, G32, G33, G34が形成されている。中間体200の上面に設けられた溝部G21, G22, G23, G24と、下面に設けられた溝部G31, G32, G33, G34とは、いずれも円柱突起部210, 220, 230, 240の中心軸の位置を中心とした同サイズの円形の輪郭を有している。図9に示すとおり、溝部G21とG31との間には、ダイアフラム215が境界壁として存在し、溝部G22とG32との間には、ダイアフラム225が境界壁として存在する。また、図17に示すとおり、溝部G23とG33との間には、ダイアフラム235が境界壁として存在し、溝部G24とG34との間には、ダイアフラム245が境界壁として存在する。

【0110】

受力体100側から下方に伸びた4本の円柱突起部110, 120, 130, 140の下面は、中間体200側から上方に伸びた4本の円柱突起部210, 220, 230, 240の上面に接合されている。ここでは、図9に示されているとおり、円柱突起部110と円柱突起部210とを接合することにより構成される円柱状の構造体を第1の力伝達体T1と呼び、円柱突起部120と円柱突起部220とを接合することにより構成される円柱状の構造体を第2の力伝達体T2と呼び、図17に示されているとおり、円柱突起部130と円柱突起部230とを接合することにより構成される円柱状の構造体を第3の力伝達体T3と呼び、円柱突起部140と円柱突起部240とを接合することにより構成される円柱状の構造体を第4の力伝達体T4と呼ぶことにする。

【0111】

結局、第1～第4の力伝達体T1～T4は、XY二次元座標系において、それぞれ第1～第4象限に配置されており、その上端は、可撓性をもった肉薄部115, 125, 135, 145を接続部材として受力体100に接続されており、その下端は、接続部材として機能するダイアフラム215, 225, 235, 245の中央に接合されており、これらダイアフラムの周囲は、中間体200を介

して支持体 300 に接続されている。

【0112】

各ダイアフラム 215, 225, 235, 245 は、導電性材料から構成されているため、可撓性を有するとともに導電性を有しており、それ自身が共通変位電極としての機能を果たす。したがって、図 18 において、第 1 象限に配置されている固定電極 E11 ~ E15 と共通変位電極として機能するダイアフラム 215 とによって、容量素子 C11 ~ C15 が構成され、第 1 のセンサ S1 として機能し、第 2 象限に配置されている固定電極 E21 ~ E25 と共通変位電極として機能するダイアフラム 225 とによって、容量素子 C21 ~ C25 が構成され、第 2 のセンサ S2 として機能し、第 3 象限に配置されている固定電極 E31 ~ E35 と共通変位電極として機能するダイアフラム 235 とによって、容量素子 C31 ~ C35 が構成され、第 3 のセンサ S3 として機能し、第 4 象限に配置されている固定電極 E41 ~ E45 と共通変位電極として機能するダイアフラム 245 とによって、容量素子 C41 ~ C45 が構成され、第 4 のセンサ S4 として機能する。

【0113】

このような力検出装置を用いれば、図 1 の上方に示す 6 つの力成分 F_x , F_y , F_z , M_x , M_y , M_z のすべてを独立して検出することが可能である。

【0114】

図 19 は、このときの各容量素子 C11 ~ C45 の静電容量値の変化の態様を示すテーブルであり、「0」は変化なし、「+」は増加、「-」は減少を示している。なお、このテーブルでは、6 つの力成分 F_x , F_y , F_z , M_x , M_y , M_z の値が正の場合のみが示されているが、負の場合は、増減の関係が逆転するだけである。各容量素子の静電容量値が、この図 19 のテーブルのように変化する理由は、§ 3 で述べた第 1 の実施形態の場合とほぼ同じであるので、ここでは詳しい説明は省略する。

【0115】

ただ、若干の補足説明を行うと、図 19 のテーブルでは、図 13 のテーブルには掲載されていなかった F_y および M_z の行が設けられている。 F_y の行を設け

ることができるようになったのは、4本の力伝達体 $T_1 \sim T_4$ を用いるようにしたためである。すなわち、4本の力伝達体 $T_1 \sim T_4$ を用いれば、 XZ 平面に平行な同一平面上に配置された力伝達体の対が2組(T_1, T_2 と、 T_3, T_4)存在するとともに、 YZ 平面に平行な同一平面上に配置された力伝達体の対が2組(T_1, T_4 と、 T_2, T_3)存在することになり、図2(b)に示す原理に基づく力成分の検出が、 X 軸に関してだけでなく、 Y 軸に関しても行うことができるようになったためである。

【0116】

また、4本の力伝達体 $T_1 \sim T_4$ を用いることにより、 Z 軸まわりのモーメント M_z も検出が可能になっている。たとえば、図18を参照しながら、受力体100に Z 軸まわりの正方向のモーメント $+M_z$ (図18の平面図上では、反時計まわりのモーメントになる)が加わった場合、4本の力伝達体 $T_1 \sim T_4$ がどの方向に傾斜するかを考えてみよう。

【0117】

まず、第1象限に配置された第1の力伝達体 T_1 (図の固定電極 E_{15} の上に配置されている)は、この図18における左上方向に傾斜することになり、容量素子 C_{12} 、 C_{13} の電極間隔が狭まり静電容量値が増加し、容量素子 C_{11} 、 C_{14} の電極間隔が広まり静電容量値が減少する。また、第2象限に配置された第2の力伝達体 T_2 (図の固定電極 E_{25} の上に配置されている)は、この図18における左下方向に傾斜することになり、容量素子 C_{22} 、 C_{24} の電極間隔が狭まり静電容量値が増加し、容量素子 C_{21} 、 C_{23} の電極間隔が広まり静電容量値が減少する。更に、第3象限に配置された第3の力伝達体 T_3 (図の固定電極 E_{35} の上に配置されている)は、この図18における右下方向に傾斜することになり、容量素子 C_{31} 、 C_{34} の電極間隔が狭まり静電容量値が増加し、容量素子 C_{32} 、 C_{33} の電極間隔が広まり静電容量値が減少する。最後に、第4象限に配置された第4の力伝達体 T_4 (図の固定電極 E_{45} の上に配置されている)は、この図18における右上方向に傾斜することになり、容量素子 C_{41} 、 C_{43} の電極間隔が狭まり静電容量値が増加し、容量素子 C_{42} 、 C_{44} の電極間隔が広まり静電容量値が減少する。なお、容量素子 C_{15} 、 C_{25} 、 C_{35}

、C45の静電容量値については、トータルでは変化が生じない。

【0118】

結局、受力体100にZ軸まわりの正方向のモーメント $+M_z$ が作用した場合は、図19の第6行目に示すような増減結果が得られることになる。もちろん、受力体100にZ軸まわりの負方向のモーメント $-M_z$ が作用した場合は、これとは正負の関係が逆転した結果が得られることになる。

【0119】

この図19のテーブルに示すような結果が得られることを踏まえると、検出処理部30として、20組の容量素子C11～C45の静電容量値（ここでは、静電容量の値自身も、同じ符号C11～C45で示すことにする）を測定する回路と、測定した各静電容量値を用いて、図20に示す式に基づく演算を行う処理装置を用意しておけば、 F_x 、 F_y 、 F_z 、 M_x 、 M_y 、 M_z の6成分を得ることができることが理解できよう。

【0120】

たとえば、図20に示す $F_x = (C_{11} - C_{12}) + (C_{21} - C_{22}) + (C_{31} - C_{32}) + (C_{41} - C_{42})$ なる式は、図19のテーブルの第1行目（ $+F_x$ の行）の結果を踏まえたものであり、第1～第4のセンサによって検知された各力伝達体T1～T4のX軸方向に関する傾斜度の和に基づいて、受力体100に作用した力のX軸方向成分 F_x が検出できることを意味している。これは、図2(b)に示す検出原理に基づくものである。

【0121】

また、図20に示す $F_y = (C_{13} - C_{14}) + (C_{23} - C_{24}) + (C_{33} - C_{34}) + (C_{43} - C_{44})$ なる式は、図19のテーブルの第2行目（ $+F_y$ の行）の結果を踏まえたものであり、第1～第4のセンサによって検知された各力伝達体T1～T4のY軸方向に関する傾斜度の和に基づいて、受力体100に作用した力のY軸方向成分 F_y が検出できることを意味している。これは、図2(b)に示す検出原理に基づくものである。

【0122】

更に、図20に示す $F_z = -(C_{15} + C_{25} + C_{35} + C_{45})$ なる式は、

図19のテーブルの第3行目（+F_zの行）の結果を踏まえたものであり、第1～第4のセンサによって検知された各力伝達体T1～T4のZ軸方向に関する力の和に基づいて、受力体100に作用した力のZ軸方向成分F_zが検出できることを意味している。先頭のマイナス符号は、Z軸方向のとり方によるものである。

【0123】

一方、図20に示す $M_x = - \left((C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14} + C_{15}) + (C_{21} + C_{22} + C_{23} + C_{24} + C_{25}) \right) - \left((C_{31} + C_{32} + C_{33} + C_{34} + C_{35}) + (C_{41} + C_{42} + C_{43} + C_{44} + C_{45}) \right)$ なる式は、図19のテーブルの第4行目（+M_xの行）の結果を踏まえたものであり、第1および第2のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力の和と、第3および第4のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力の和と、の差に基づいて、受力体に作用した力のX軸まわりのモーメントM_xが検出できることを意味している。これは、図16に示す上面図において、点P3が上方（Z軸正方向）に移動し、点P4が下方（Z軸負方向）に移動した状態での検出であり、図2(c)に示す検出原理に基づくものである。式の前頭のマイナス符号は、モーメントの向きのとり方によるものである。

【0124】

また、図20に示す $M_y = (C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14} + C_{15}) + (C_{41} + C_{42} + C_{43} + C_{44} + C_{45}) - (C_{21} + C_{22} + C_{23} + C_{24} + C_{25}) + (C_{31} + C_{32} + C_{33} + C_{34} + C_{35})$ なる式は、図19のテーブルの第5行目（+M_yの行）の結果を踏まえたものであり、第1および第4のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力の和と、第2および第3のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力の和と、の差に基づいて、受力体に作用した力のY軸まわりのモーメントM_yが検出できることを意味している。これは、図16に示す上面図において、点P1が下方（Z軸負方向）に移動し、点P2が上方（Z軸正方向）に移動した状態での検出であり、図2(c)に示す検出原理に基づくものである。

【0125】

最後に、図20に示す $M_z = ((C_{31} - C_{32}) + (C_{41} - C_{42})) - ((C_{11} - C_{12}) + (C_{21} - C_{22})) + ((C_{13} - C_{14}) + (C_{43} - C_{44})) - ((C_{23} - C_{24}) + (C_{33} - C_{34}))$ なる式は、図19のテーブルの第6行目(+ M_z の行)の結果を踏まえたものであり、第3および第4のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度の和と、第1および第2のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度の和と、の差を第1の差として求め、第1および第4のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度の和と、第2および第3のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度の和と、の差を第2の差として求め、前記第1の差と前記第2の差との和に基づいて、受力体に作用した力のZ軸まわりのモーメント M_z が検出できることを意味している。

【0126】

なお、各力伝達体 $T_1 \sim T_4$ のZ軸方向に関する力を求める方法には、複数通りのバリエーションがあることは、§3で述べたとおりであり、図20に示す各式に、これらのバリエーションを適用することも可能である。たとえば、 $M_x = -((C_{15} + C_{25}) - (C_{35} + C_{45}))$ なる式や、 $M_y = ((C_{15} + C_{45}) - (C_{25} + C_{35}))$ なる式を用いることもできる。

【0127】

<<< §5. 本発明の第3の実施形態 >>>

次に、本発明の第3の実施形態に係る力検出装置を説明する。この第3の実施形態に係る力検出装置は、上述した第2の実施形態に係る力検出装置と同様に、柱状の力伝達体を4本用い、4組のセンサ $S_1 \sim S_4$ を用いた検出を行う。ただ、この4本の柱状力伝達体の配置が若干異なっている。以下、この相違点についてのみ説明を行う。

【0128】

図21は、この第3の実施形態に係る力検出装置に用いられる支持体300の上面図である。前述した第2の実施形態に係る力検出装置に用いられる支持体300の上面図である図18と比較すると、両者の相違点が明確になる。すなわち、第2の実施形態では、図18に示すように、4組のセンサ $S_1 \sim S_4$ の構成要

素となる固定電極 E 1 1 ~ E 1 5, E 2 1 ~ E 2 5, E 3 1 ~ E 3 5, E 4 1 ~ E 4 5 が、それぞれ x y 座標系における第 1 ~ 第 4 象限に配置されており、第 1 ~ 第 4 の力伝達体 T 1 ~ T 4 が、X Y 二次元座標系において、それぞれ第 1 ~ 第 4 象限に配置されていた。

【0129】

これに対して、図 2 1 に示す第 3 の実施形態に係る力検出装置では、4 組のセンサ S 1 ~ S 4 の構成要素となる固定電極 E 1 1 ~ E 1 5, E 2 1 ~ E 2 5, E 3 1 ~ E 3 5, E 4 1 ~ E 4 5 は、それぞれ x 軸の正の部分、x 軸の負の部分、y 軸の正の部分、y 軸の負の部分に配置されており、第 1 ~ 第 4 の力伝達体 T 1 ~ T 4 の長手方向が、X Y 二次元座標系において、それぞれ X 軸の正の部分、X 軸の負の部分、Y 軸の正の部分、Y 軸の負の部分に交差するように配置されている。各固定電極 E 1 1 ~ E 1 5, E 2 1 ~ E 2 5, E 3 1 ~ E 3 5, E 4 1 ~ E 4 5 と、その上方に位置する導電性ダイアフラム（共通変位電極）によって、容量素子 C 1 1 ~ C 1 5, C 2 1 ~ C 2 5, C 3 1 ~ C 3 5, C 4 1 ~ C 4 5 が形成される点は、上述した第 2 の実施形態と同様である。ただ、力伝達体やセンサの配置が異なるため、検出処理部 3 0 による検出処理は若干異なる。

【0130】

図 2 2 は、この第 3 の実施形態に係る力検出装置における各容量素子 C 1 1 ~ C 4 5 の静電容量値の変化の態様を示すテーブルであり、やはり「0」は変化なし、「+」は増加、「-」は減少を示している。また、このテーブルにおいても、6 つの力成分 F_x , F_y , F_z , M_x , M_y , M_z の値が正の場合のみが示されているが、負の場合は、増減の関係が逆転するだけである。この図 2 2 に示すテーブルと、図 1 9 に示すテーブルとを比べると、各軸方向の力成分 F_x , F_y , F_z が作用した場合の各容量素子の静電容量値の変化の態様は全く同じである。したがって、各軸方向の力成分 F_x , F_y , F_z に関する検出原理は、前述した第 2 の実施形態の場合と同じになる。

【0131】

ただ、各軸まわりのモーメント M_x , M_y , M_z が作用した場合の各容量素子の静電容量値の変化の態様は若干異なっており、これらモーメントの検出原理は

、前述した第2の実施形態の場合とは異なる。以下、この点について簡単に説明をしておく。

【0132】

まず、X軸まわりのモーメント M_x が作用した場合は、Y軸の正の部分に配置された第3の力伝達体T3から支持体300に対して引っ張り力($+f_z$)が作用し、Y軸の負の部分に配置された第4の力伝達体T4から支持体300に対して押圧力($-f_z$)が作用する。このとき、X軸の正の部分に配置された第1の力伝達体T1およびX軸の負の部分に配置された第2の力伝達体T2から支持体300に対しては、有意な力の作用は生じない。実際には、部分的にZ軸方向に関する力の作用があるが、第3および第4の力伝達体から加わる力に比べるとわずかであるため、ここでは容量素子C11～C15およびC21～C25の静電容量値の変化は「0」と考えることにする。その結果、図22の第4行目($+M_x$ の行)に示すような結果が得られることになる。

【0133】

一方、Y軸まわりのモーメント M_y が作用した場合は、X軸の正の部分に配置された第1の力伝達体T1から支持体300に対して押圧力($-f_z$)が作用し、X軸の負の部分に配置された第2の力伝達体T2から支持体300に対して引っ張り力($+f_z$)が作用する。このとき、Y軸の正の部分に配置された第3の力伝達体T3およびY軸の負の部分に配置された第4の力伝達体T4から支持体300に対しては、有意な力の作用は生じない。その結果、図22の第5行目($+M_y$ の行)に示すような結果が得られることになる。

【0134】

次に、図21を参照しながら、受力体100にZ軸まわりの正方向のモーメント $+M_z$ (図21の平面図上では、反時計まわりのモーメントになる)が加わった場合、4本の力伝達体T1～T4がどの方向に傾斜するかを考えてみよう。

【0135】

まず、X軸の正の部分に配置された第1の力伝達体T1(図の固定電極E15の上に配置されている)は、この図21における上方向(y軸の正方向)に傾斜することになり、容量素子C13の電極間隔が狭まり静電容量値が増加し、容量

素子C14の電極間隔が広まり静電容量値が減少する。また、X軸の負の部分に配置された第2の力伝達体T2（図の固定電極E25の上に配置されている）は、この図21における下方向（y軸の負方向）に傾斜することになり、容量素子C24の電極間隔が狭まり静電容量値が増加し、容量素子C23の電極間隔が広まり静電容量値が減少する。更に、Y軸の正の部分に配置された第3の力伝達体T3（図の固定電極E35の上に配置されている）は、この図21における左方向（x軸の負方向）に傾斜することになり、容量素子C32の電極間隔が狭まり静電容量値が増加し、容量素子C31の電極間隔が広まり静電容量値が減少する。最後に、Y軸の負の部分に配置された第4の力伝達体T4（図の固定電極E45の上に配置されている）は、この図21における右方向（x軸の正方向）に傾斜することになり、容量素子C41の電極間隔が狭まり静電容量値が増加し、容量素子C42の電極間隔が広まり静電容量値が減少する。なお、その他の容量素子の静電容量値については、トータルでは変化が生じない。

【0136】

結局、受力体100にZ軸まわりの正方向のモーメント $+M_z$ が作用した場合は、図22の第6行目に示すような増減結果が得られることになる。もちろん、受力体100にZ軸まわりの負方向のモーメント $-M_z$ が作用した場合は、これとは正負の関係が逆転した結果が得られることになる。

【0137】

この図22のテーブルに示すような結果が得られることを踏まえると、検出処理部30として、20組の容量素子C11～C45の静電容量値（ここでは、静電容量の値自身も、同じ符号C11～C45で示すことにする）を測定する回路と、測定した各静電容量値を用いて、図23に示す式に基づく演算を行う処理装置を用意しておけば、 F_x 、 F_y 、 F_z 、 M_x 、 M_y 、 M_z の6成分を得ることができる。ここで、図23に示す F_x 、 F_y 、 F_z についての式は、図20に示す式と全く同様である。

【0138】

図23に示す $M_x = (C_{41} + C_{42} + C_{43} + C_{44} + C_{45}) - (C_{31} + C_{32} + C_{33} + C_{34} + C_{35})$ なる式は、図22のテーブルの第4行目（

+M_xの行)の結果を踏まえたものであり、第4のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、第3のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、の差に基づいて、受力体に作用した力のX軸まわりのモーメントM_xが検出できることを意味している。

【0139】

また、図23に示す $M_y = (C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14} + C_{15}) - (C_{21} + C_{22} + C_{23} + C_{24} + C_{25})$ なる式は、図22のテーブルの第5行目(+M_yの行)の結果を踏まえたものであり、第1のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、第2のセンサによって検知されたZ軸方向に関する力と、の差に基づいて、受力体に作用した力のY軸まわりのモーメントM_yが検出できることを意味している。

【0140】

最後に、図23に示す $M_z = ((C_{13} - C_{14}) + (C_{41} - C_{42})) - ((C_{23} - C_{24}) + (C_{31} - C_{32}))$ なる式は、図22のテーブルの第6行目(+M_zの行)の結果を踏まえたものであり、第1のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度と第4のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度との和と、第2のセンサによって検知されたY軸方向に関する傾斜度と第3のセンサによって検知されたX軸方向に関する傾斜度との和と、の差に基づいて、受力体に作用した力のZ軸まわりのモーメントM_zが検出できることを意味している。

【0141】

なお、各力伝達体T₁～T₄のZ軸方向に関する力を求める方法には、複数通りのバリエーションがあることは、§3で述べたとおりであり、図23に示す各式に、これらのバリエーションを適用することも可能である。

【0142】

<<< §6. 本発明の変形例 >>>

図24は、図9に示す第1の実施形態に係る力検出装置に、制限部材を付加した変形例の構造を示す側断面図である。§3で述べたとおり、この図9に示す力検出装置内には、第1のセンサS₁と第2のセンサS₂とが組み込まれており、

これらのセンサは肉薄のダイヤフラム 215, 225 を有している。このダイヤフラム 215, 225 は、ある程度の可撓性を有しており、力伝達体 T1, T2 から許容範囲内の力が作用した場合には、所定の態様で変形することは既に述べたとおりである。しかしながら、ダイヤフラム 215, 225 に過度の力が作用すると、亀裂が発生するなど、機械的な損傷を被る可能性がある。

【0143】

この図 24 に示す変形例は、このように、ダイヤフラム 215, 225 に過度の力が伝達されることにより、機械的な損傷が生じるのを防ぐために、受力体 100 の支持体 300 に対する変位を、所定の範囲内に制限するための制限部材を設けた例である。この例では、図示のとおり、中間体 200 の外周部分から、制御壁 250 が立ち上がっており、更に上部には、制御用底部 260 が形成されている。また、2 本の力伝達体 T1, T2 の全長もなるべく短く設定されている。その結果、受力体 100 の変位は、所定の範囲内に制限されている。

【0144】

たとえば、受力体 100 の下方（-Z 軸方向）への変位は、図示の寸法 d1 以内となるように制限されている。もし、受力体 100 に対して、下方への大きな力が作用したとしても、受力体 100 の下方への変位が寸法 d1 に達した段階で、受力体 100 の底面が中間体 200 の上面に接触することになり、それ以上の変位が制限される。

【0145】

また、受力体 100 の上方（+Z 軸方向）への変位は、図示の寸法 d2 以内となるように制限されている。もし、受力体 100 に対して、上方への大きな力が作用したとしても、受力体 100 の上方への変位が寸法 d2 に達した段階で、受力体 100 の上面が制御用底部 260 の下面に接触することになり、それ以上の変位が制限される。

【0146】

更に、受力体 100 の横方向（±X 軸方向および±Y 軸方向）への変位は、図示の寸法 d3 以内となるように制限されている。もし、受力体 100 に対して、横方向への大きな力が作用したとしても、受力体 100 の横方向への変位が寸法

d 3 に達した段階で、受力体 100 の側面が制御壁 250 の内面に接触することになり、それ以上の変位が制限される。もちろん、このような制限部材は、第 2 および第 3 の実施形態の装置にも適用可能である。

【0147】

このような制限部材を用いた実施形態によって、実際に変位が制限される状態を、図 25～図 27 の側断面図に示す。図 25 は、X 軸正方向に過度の力 $+F_x$ が加わったときの状態である。受力体 100 の右側面が制御壁 250 に接触し、これ以上の変位が制限されている。一方、図 26 は、Z 軸正方向に過度の力 $+F_z$ が加わったときの状態である。受力体 100 の外側上面が制御用底部 260 に接触し、これ以上の変位が制限されている。また、図 27 は、Y 軸まわり正方向に過度のモーメント $+M_y$ が加わったときの状態である。この場合、第 1 の力伝達体 T1 には図の下方への力 $-F_z$ が加わり、第 2 の力伝達体 T2 には図の上方への力 $+F_z$ が加わり、図のような変位が生じるが、やはりこれ以上の変位は制限されることになる。この図 25～図 27 には、各容量素子の電極間隔の変化も示されているので、図 19 や図 22 のテーブルに示す静電容量値の変化が生じることも理解できよう。

【0148】

以上、本発明を図示する実施形態に基づいて説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されるものではなく、この他にも種々の態様で実施可能である。

【0149】

たとえば、上述の実施形態では、各力伝達体と支持体との接続部分に、図 3 に示すタイプの多軸力センサを組み込んでいるが、本発明に組み込む力センサは、必ずしも図 3 に示すような静電容量式のものにする必要はなく、たとえば、ピエゾ抵抗式力センサ、圧電素子を用いた力センサなどを用いてもかまわない。また、静電容量式力センサを用いる場合であっても、必ずしも図 3 に示すようなダイアフラム 51 自身を共通変位電極として利用するタイプのものを用いる必要はない。ダイアフラム 51 が絶縁材料から構成されている場合には、その下面に導電性膜を形成して共通変位電極として利用することができる。もちろん、共通変位電極を 1 枚だけ設ける代わりに、各固定電極に対向した個別の変位電極を設ける

ようにしてもかまわない。

【0150】

上述の実施形態では、各力伝達体と受力体との接続部分に、可撓性をもった接続部材（具体的には、板状の受力体の肉薄部）を設けているが、各力伝達体の上端は、必ずしも可撓性をもった接続部材を介して受力体に接続する必要はない。検出対象となる力やモーメントを受力体に支障なく作用させることができるのであれば、各力伝達体の上端を受力体に直接接続して固定する形態をとってもかまわない。もっとも、実用上は、検出対象となる力やモーメントを受力体に支障なく作用させるために、これまで述べてきた実施形態のように、各力伝達体の上端を、可撓性をもった接続部材を介して受力体に接続するようにし、各力伝達体が受力体に対して、ある程度の自由度をもって変位できるような構造にしておくのが好ましい。

【0151】

また、最終的な力やモーメントの検出値を求める機能を果たす検出処理部30も、実際には種々の構成で実現できる。たとえば、個々の容量素子の静電容量値をアナログ電圧値として測定し、この測定値をデジタル信号に変換した後、CPUなどの演算装置を用いて、図14、図20、図23の式に示す演算を実行する、という手法を採ることもできるし、個々の容量素子の静電容量値の測定値をアナログ電圧値のまま取り扱い、アナログ信号として最終的な検出値を出力する、という手法を採ることも可能である。後者の手法を採る場合は、各容量素子の電極に所定の配線を施し、必要に応じて、アナログ加算器やアナログ減算器からなるアナログ演算回路に接続するようにすればよい。

【0152】

これまで述べた実施形態では、2本もしくは4本の力伝達体およびその接続部材は、正形状の受力体100の中心に原点をとった座標系においてシンメトリックな位置（特定の座標軸に関して線対称となる位置）に配置され、また、いずれも同一材質、同一サイズのものであったが、これらは必ずしもシンメトリックな位置に配置する必要はなく、また、同一材質、同一サイズにする必要はない。もちろん、各センサも同一のものを用意する必要はない。たとえば、第2の実施

形態では、4本の力伝達体が、正方形の4頂点位置に配置されているが、原理的には、4本の力伝達体のうちの3つ以上が同一平面に沿って配置されることがないようにすれば、4本の力伝達体の配置は任意でかまわない。ただ、4本の力伝達体が座標系に対してシンメトリックな配置になっていなかったり、材質やサイズが同一になっていなかったり、個々のセンサの構造やサイズが異なっていたりすると、各容量素子の検出感度に差が生じ、図14、図20、図23の式に示す演算を行う場合、個々の静電容量値に固有の感度係数を乗ずる必要が出てくるため、実用上は、上述の実施形態を採るのが好ましい。

【0153】

また、§3で述べた第1の実施形態では、2本の力伝達体のみを用いたが、実用上は、§5で述べた第3の実施形態に示すように4本の力伝達体を用いた方が、受力体100を安定して支持することができる。ただし、第1の実施形態では、力 F_y を検出する必要がないので、第3および第4の力伝達体から加えられる力を検出するセンサは不要であり、電極E31～E35およびE41～E45を設ける必要はない。

【0154】

【発明の効果】

以上のとおり本発明に係る力検出装置によれば、できるだけ単純な構造により、力とモーメントとを区別して検出することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明に係る力検出装置の基本構成を示す斜視図（一部はブロック図）である。

【図2】

図1に示す力検出装置の基本的な動作原理を示す正面図である。

【図3】

図1に示す力検出装置における第1のセンサ21および第2のセンサ22として利用するのに適した多軸力センサの一例を示す側断面図（ xz 平面で切った断面図）である。

【図 4】

図 3 に示す多軸力センサの上面図である。

【図 5】

図 3 に示す多軸力センサにおける支持体 40 の上面図である（破線は、腕状接続部材の位置を示している）。

【図 6】

図 3 に示す多軸力センサに、 x 軸正方向の力 $+f_x$ が加えられたときの状態を示す側断面図である。

【図 7】

図 3 に示す多軸力センサに、 x 軸負方向の力 $-f_x$ が加えられたときの状態を示す側断面図である。

【図 8】

図 3 に示す多軸力センサに、 z 軸負方向の力 $-f_z$ が加えられたときの状態を示す側断面図である。

【図 9】

本発明の第 1 の実施形態に係る力検出装置の主たる構造部分を、 XZ 平面に沿って切断した状態を示す側断面図である。

【図 10】

図 9 に示す力検出装置の上面図である。

【図 11】

図 9 に示す力検出装置を XY 平面に沿って切断した状態を示す横断面図である。

【図 12】

図 9 に示す力検出装置の支持体 300 の上面図である。

【図 13】

図 9 に示す力検出装置による各力成分の検出原理を示すテーブルであり、図 9 に示す力検出装置の受力体 100 に、各力成分が作用したときの各容量素子の静電容量値の変化の態様を示している。

【図 14】

図 9 に示す力検出装置による各力成分の検出原理を数式を用いて示す図である。

【図 15】

図 9 に示す力検出装置によって、力とモーメントとを区別して検出することができることを説明するための側断面図である。

【図 16】

本発明の第 2 の実施形態に係る力検出装置の主たる構造部分の上面図である。

【図 17】

図 16 に示す力検出装置を切断線 17-17 に沿って切断した断面を示す側断面図である。

【図 18】

図 17 に示す力検出装置の支持体 300 の上面図である。

【図 19】

図 17 に示す力検出装置による各力成分の検出原理を示すテーブルであり、図 17 に示す力検出装置の受力体 100 に、各力成分が作用したときの各容量素子の静電容量値の変化の態様を示している。

【図 20】

図 17 に示す力検出装置による各力成分の検出原理を数式を用いて示す図である。

【図 21】

本発明の第 3 の実施形態に係る力検出装置の支持体 300 の上面図である。

【図 22】

図 21 に示す力検出装置による各力成分の検出原理を示すテーブルであり、受力体 100 に各力成分が作用したときの各容量素子の静電容量値の変化の態様を示している。

【図 23】

図 21 に示す力検出装置による各力成分の検出原理を数式を用いて示す図である。

【図 24】

図 9 に示す力検出装置に、制限部材を付加した変形例の構造を示す側断面図である。

【図 25】

図 24 に示す力検出装置に、過度の力 $+F_x$ が加わった状態を示す側断面図である。

【図 26】

図 24 に示す力検出装置に、過度の力 $+F_z$ が加わった状態を示す側断面図である。

【図 27】

図 24 に示す力検出装置に、過度のモーメント $+M_y$ が加わった状態を示す側断面図である。

【符号の説明】

- 10…受力体
- 11…第1の力伝達体
- 12…第2の力伝達体
- 20…支持体
- 21…第1のセンサ
- 22…第2のセンサ
- 30…検出処理部
- 40…支持体
- 50…腕状接続部材
- 51…ダイヤフラム（共通変位電極）
- 52…側壁部
- 53…固定部
- 60…力伝達体
- 100…受力体
- 110…円柱突起部
- 115…肉薄部
- 120…円柱突起部

1 2 5 …肉薄部

1 3 0 …円柱突起部

1 3 5 …肉薄部

1 4 0 …円柱突起部

1 4 5 …肉薄部

1 5 0 …円柱状突起

2 0 0 …中間体

2 1 0 …円柱突起部

2 1 5 …ダイアフラム

2 2 0 …円柱突起部

2 2 5 …ダイアフラム

2 3 0 …円柱突起部

2 3 5 …ダイアフラム

2 4 0 …円柱突起部

2 4 5 …ダイアフラム

2 5 0 …制御壁

2 6 0 …制御用底部

3 0 0 …支持体

C 1 1 ～ C 4 5 …容量素子／容量素子の静電容量値

d 1, d 2, d 3 …制御用寸法

E 1 ～ E 5, E 1 1 ～ E 4 5 …固定電極

F x, F x' …X 軸方向の力

f x, f x' …x 軸方向の力

F y …Y 軸方向の力

F z …Z 軸方向の力

f z …支持体に対して作用する引っ張り力／押圧力

G 1 1 ～ G 3 4 …溝部

M x …X 軸まわりのモーメント

M y …Y 軸まわりのモーメント

M_z …Z 軸まわりのモーメント

O…座標系の原点

P 1 ～ P 4 …受力体 1 0 0 上の点

S 1 ～ S 4 …多軸力センサ

T 1 ～ T 4 …力伝達体

X Y Z…受力体の中心位置に原点をもつ座標系

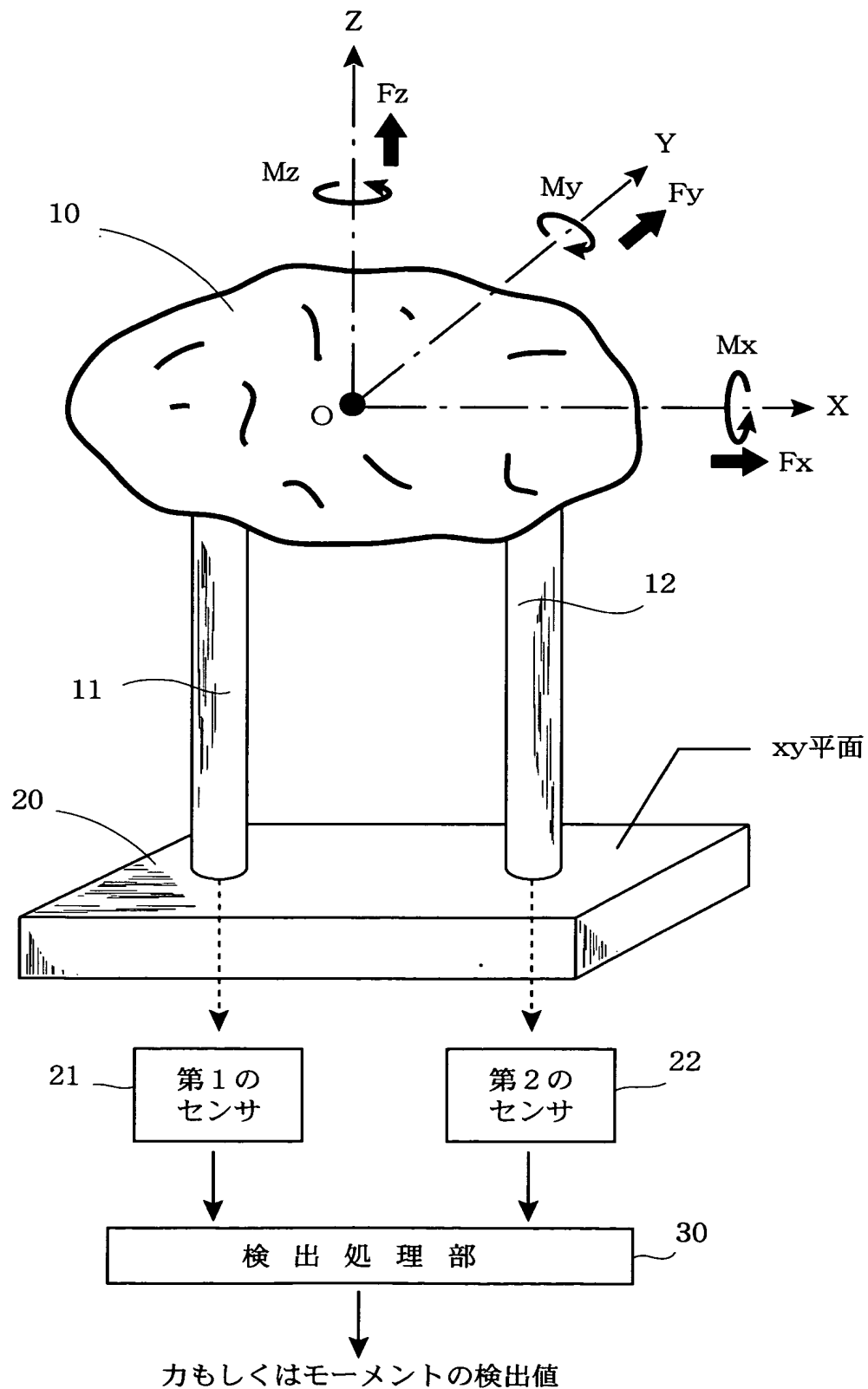
x y…支持体の上面に定義された座標系

θ_1 , θ_2 …力伝達体 1 1, 1 2 の傾斜角

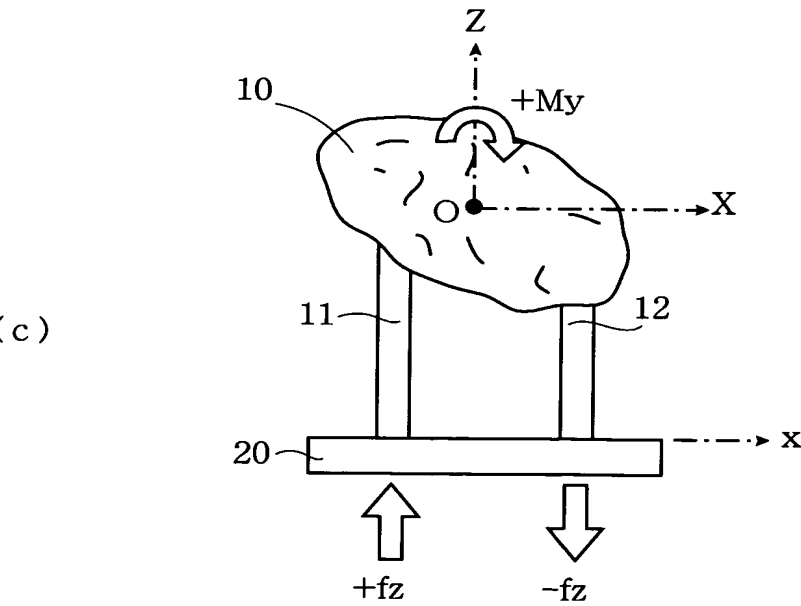
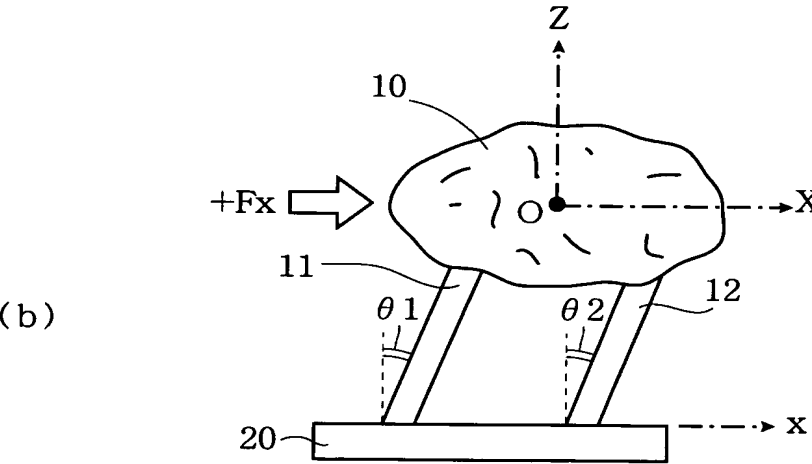
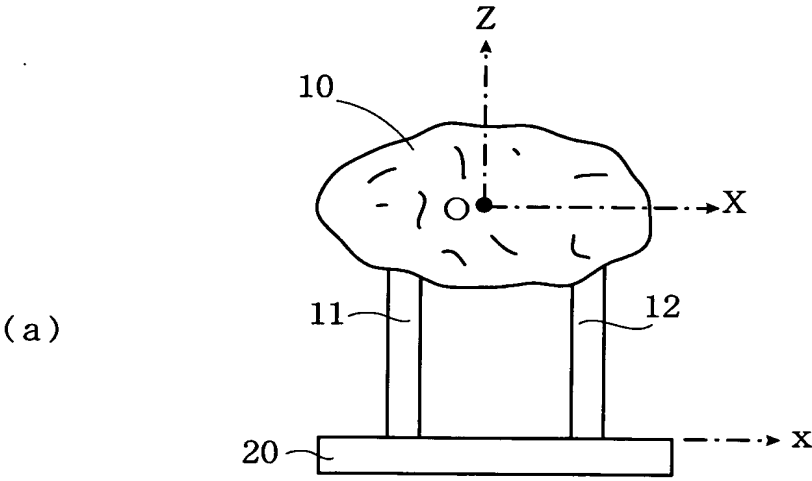
【書類名】

図面

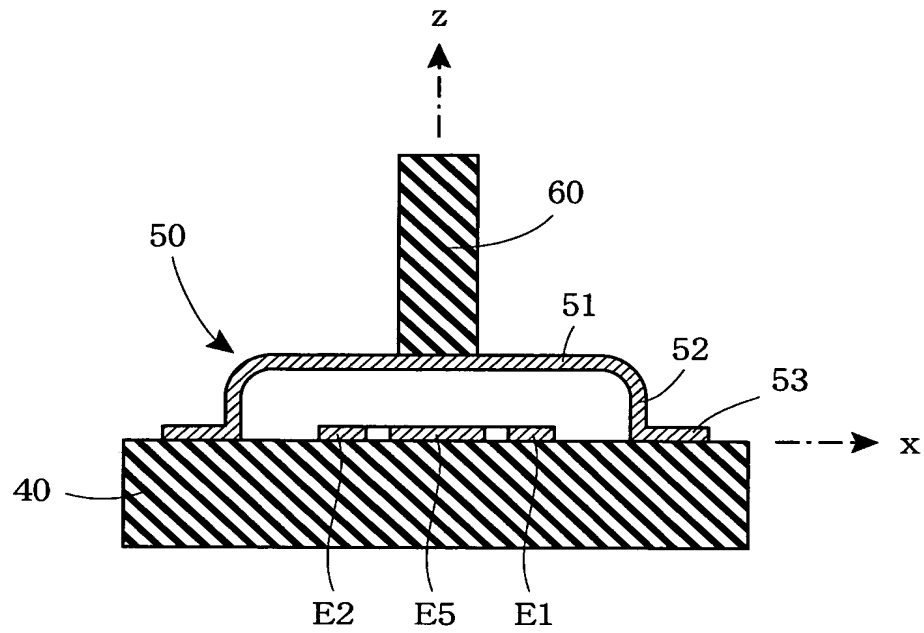
【図 1】



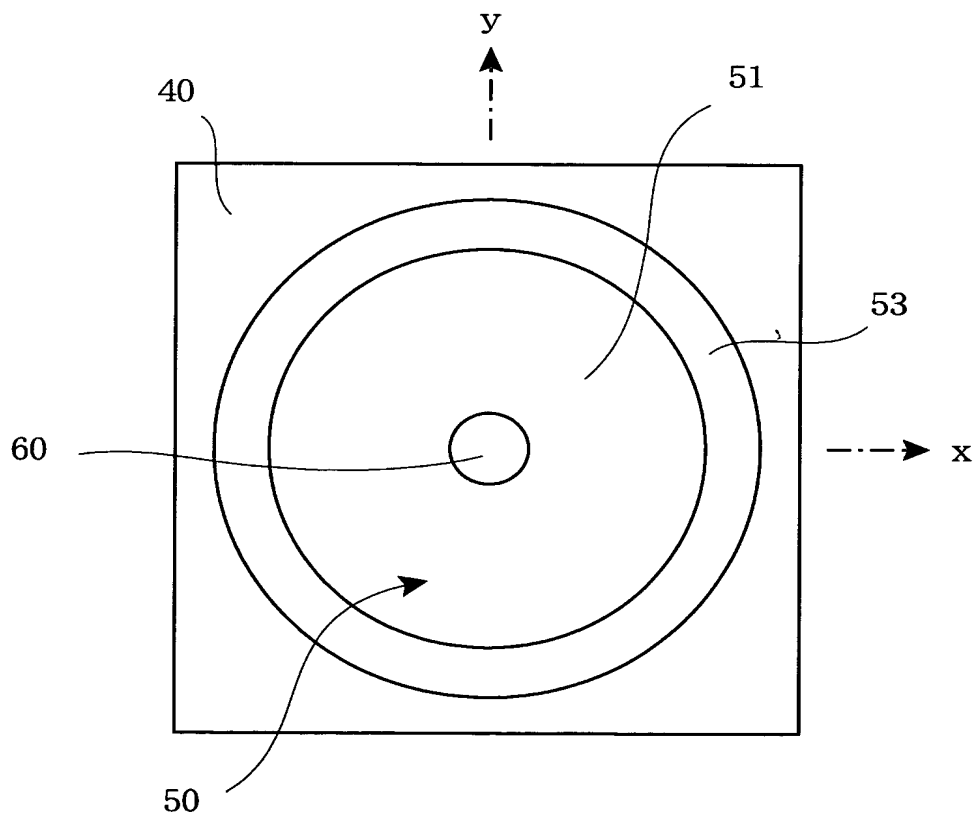
【図 2】



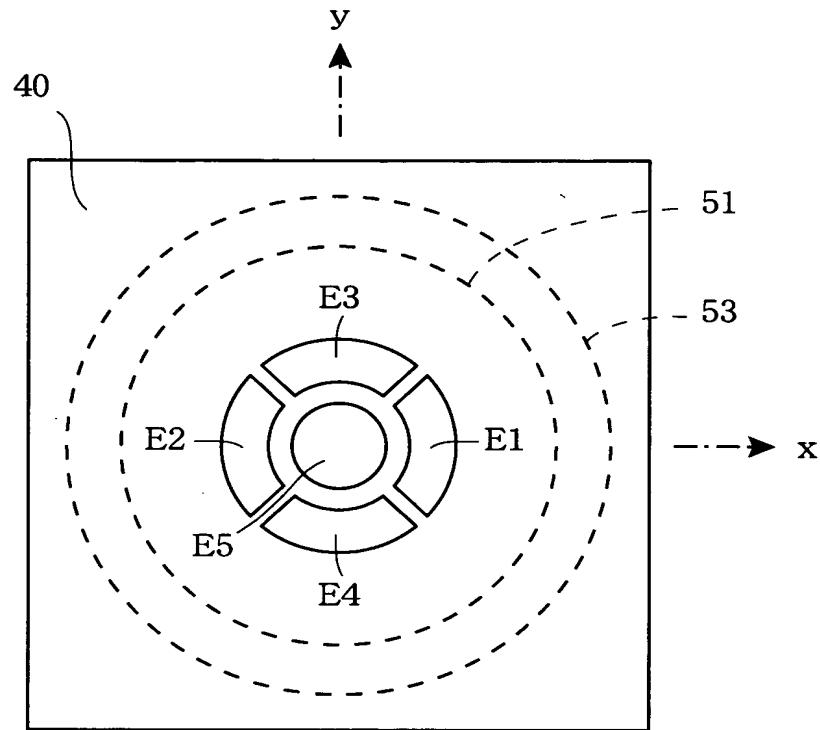
【図 3】



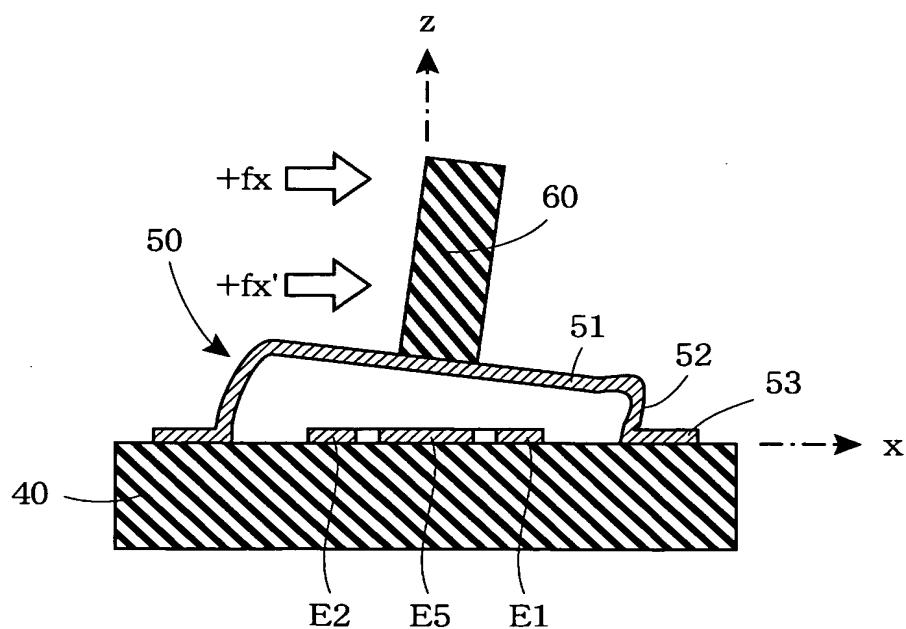
【図 4】



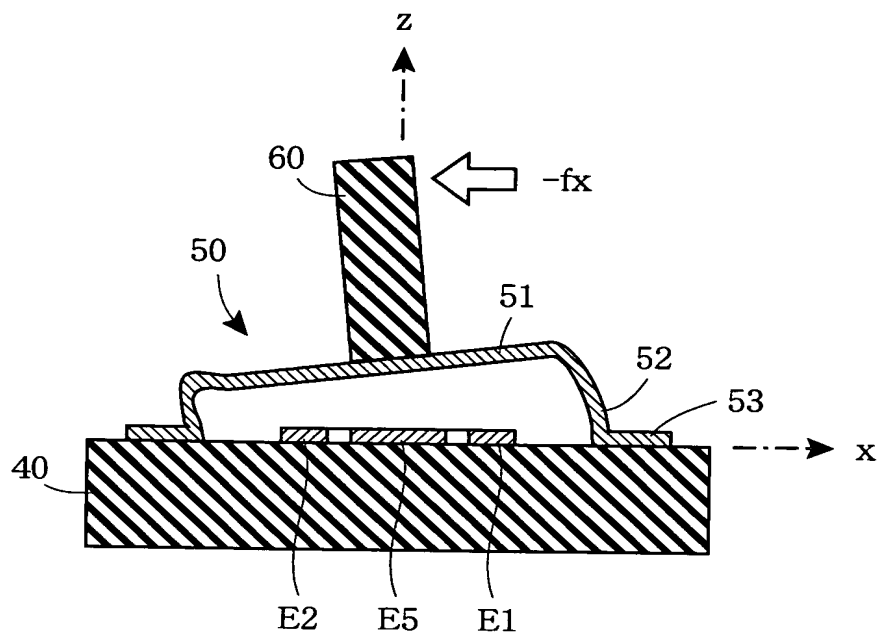
【図 5】



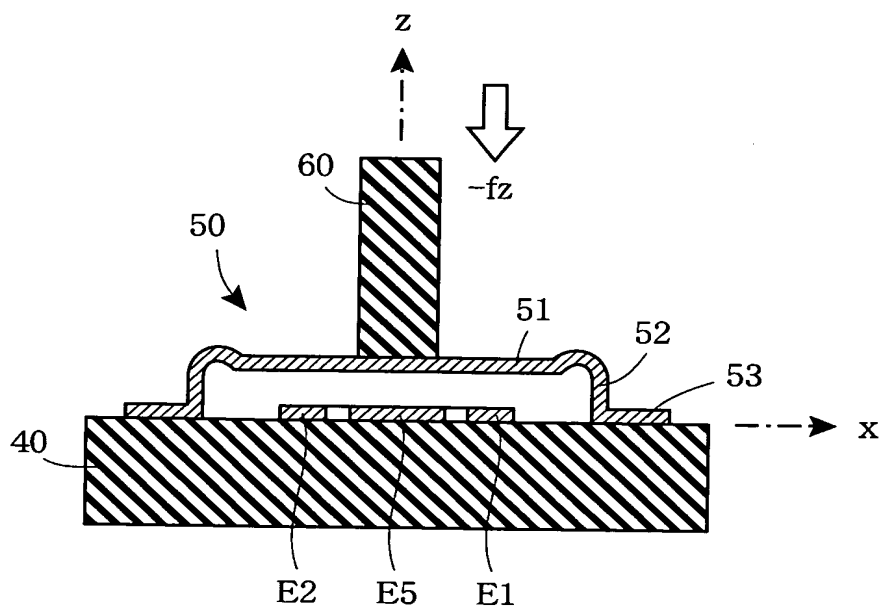
【図 6】



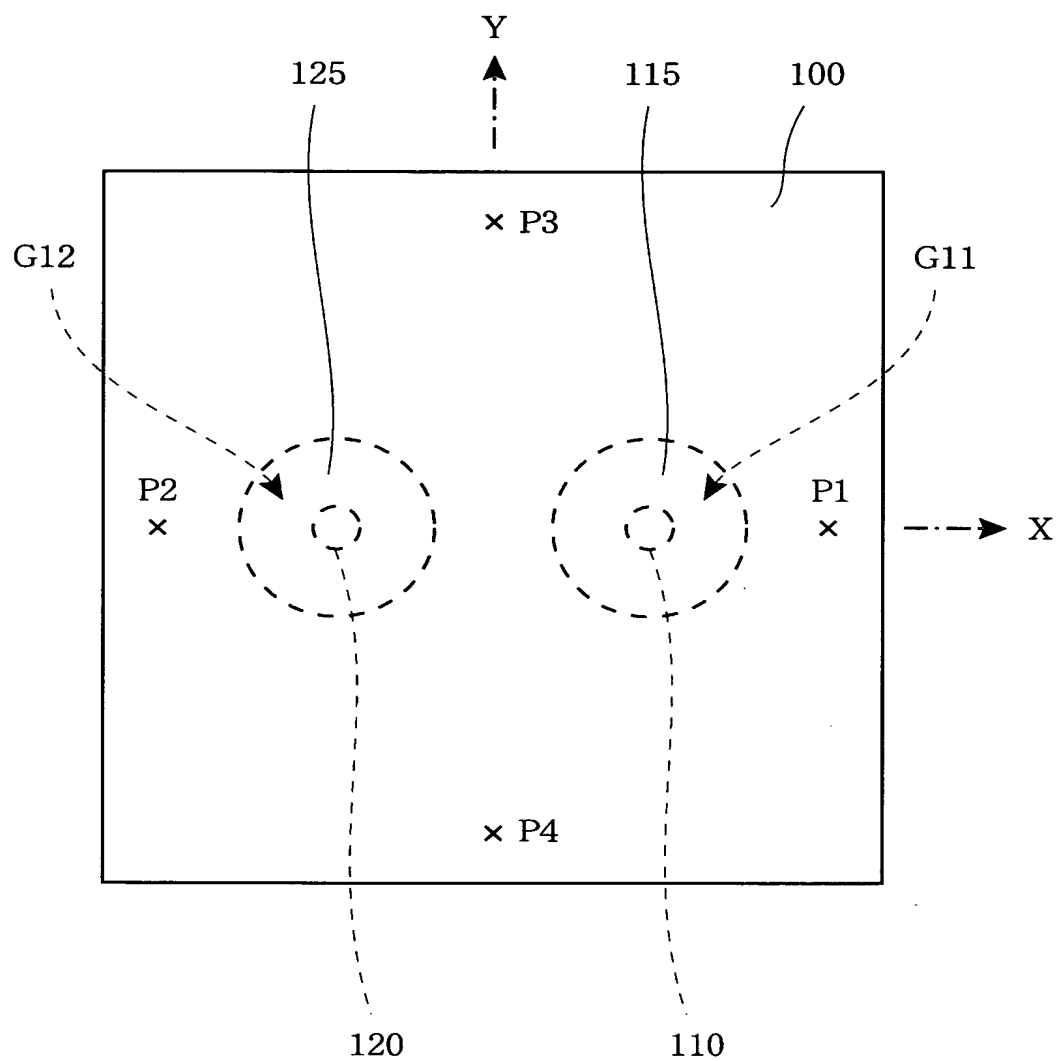
【図 7】



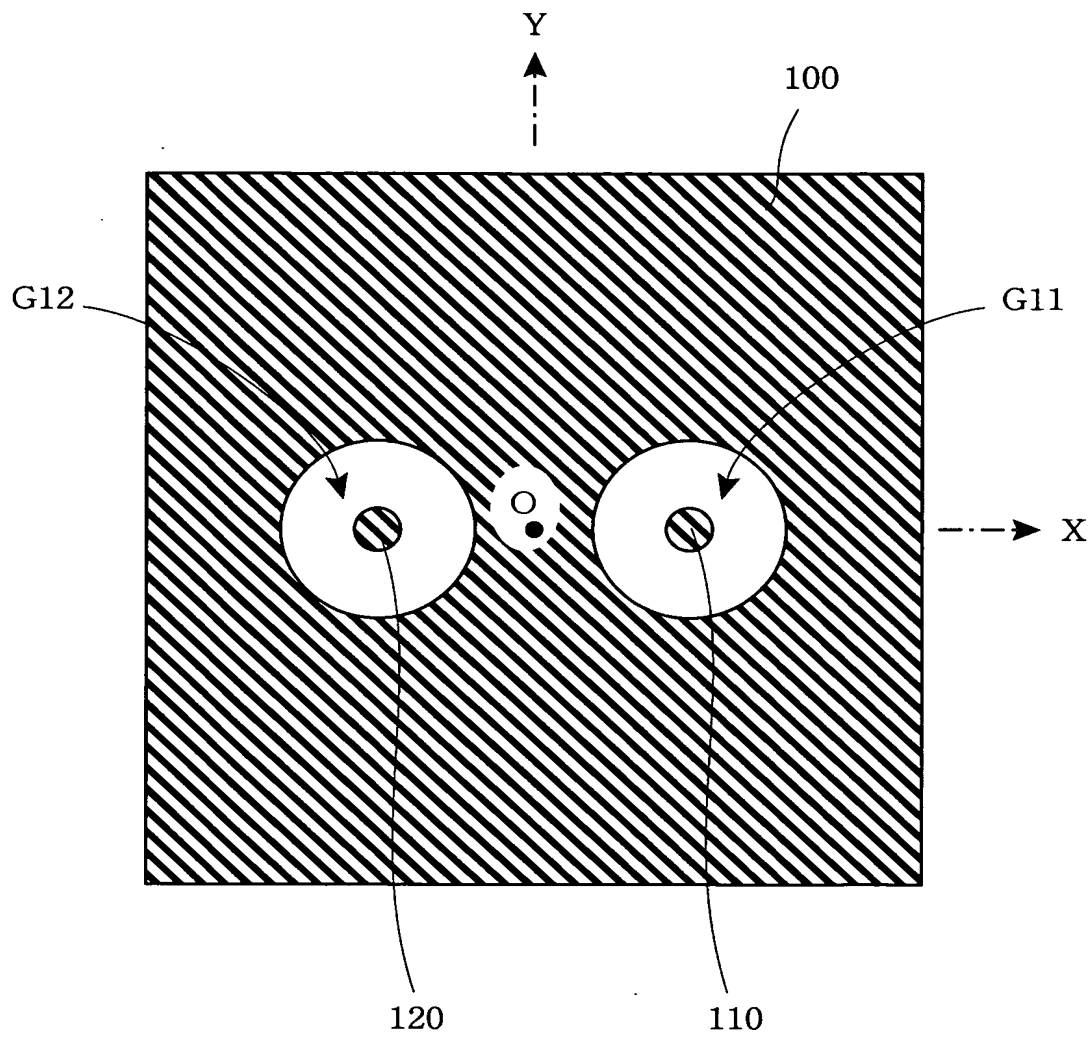
【図 8】



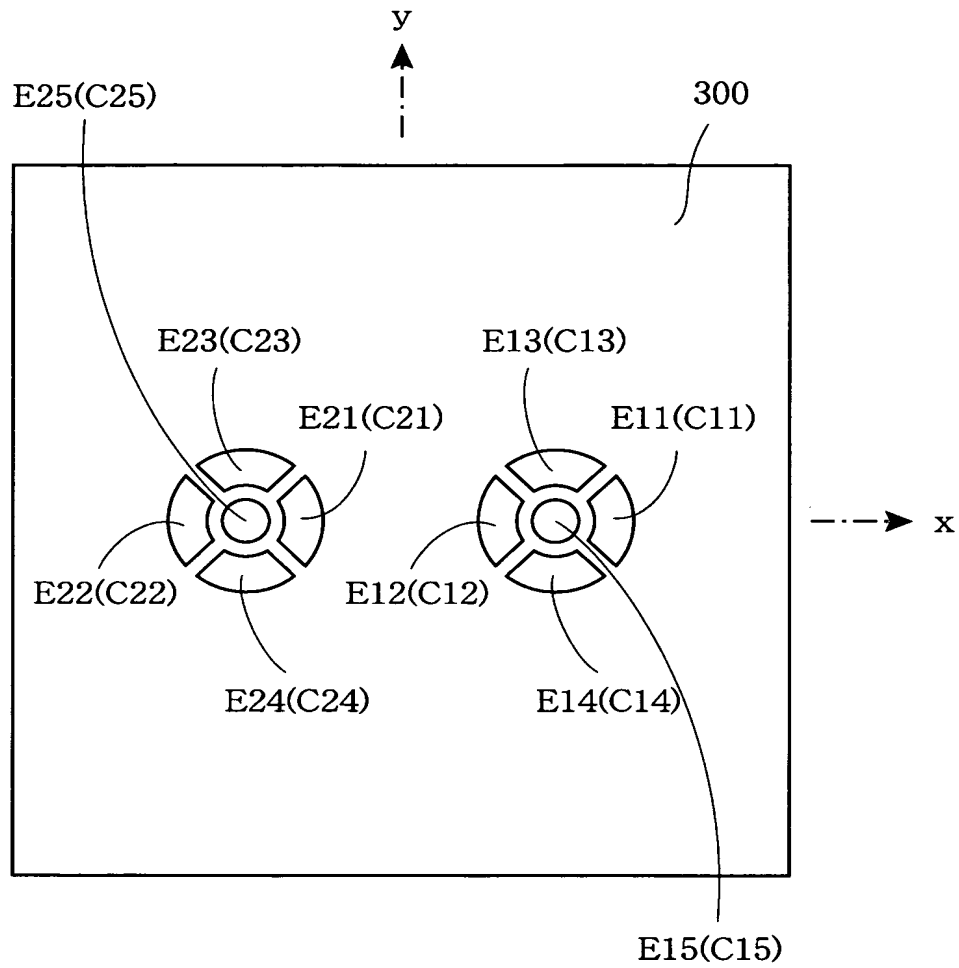
【図 10】



【図 11】



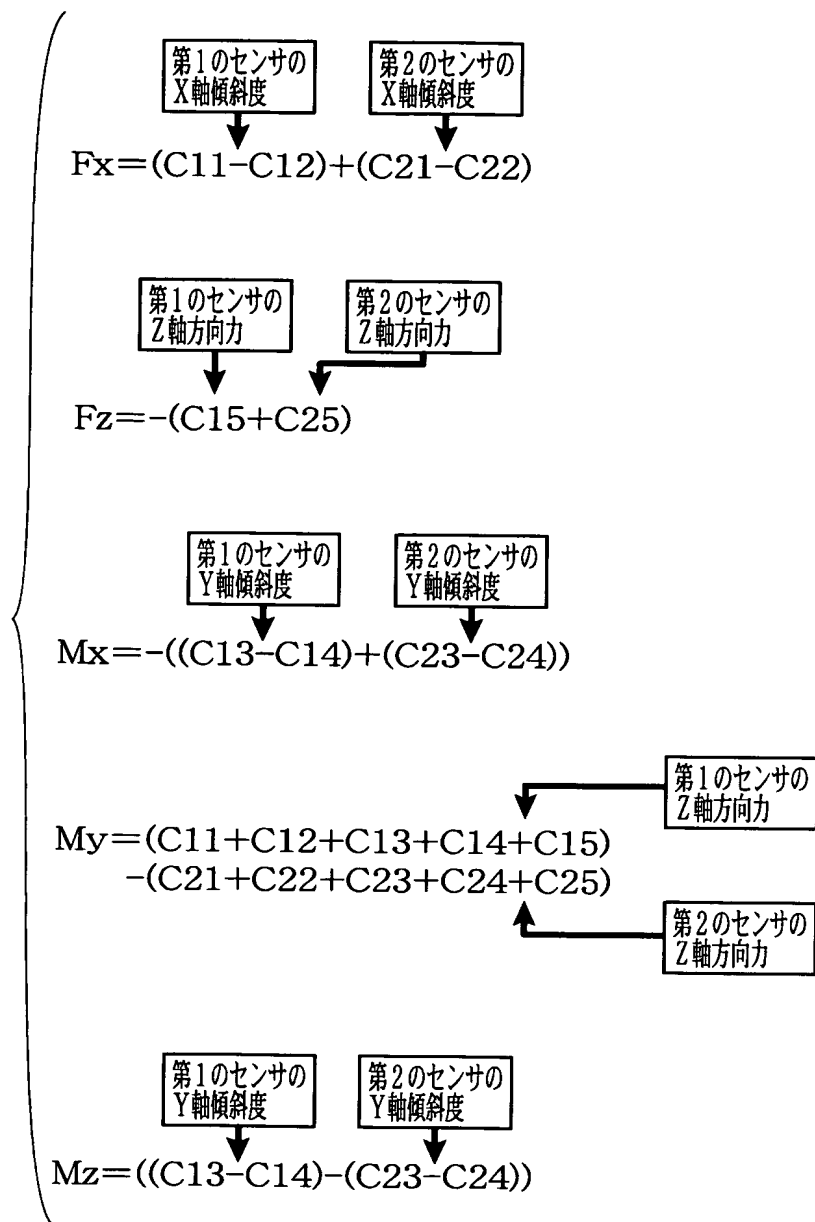
【図 12】



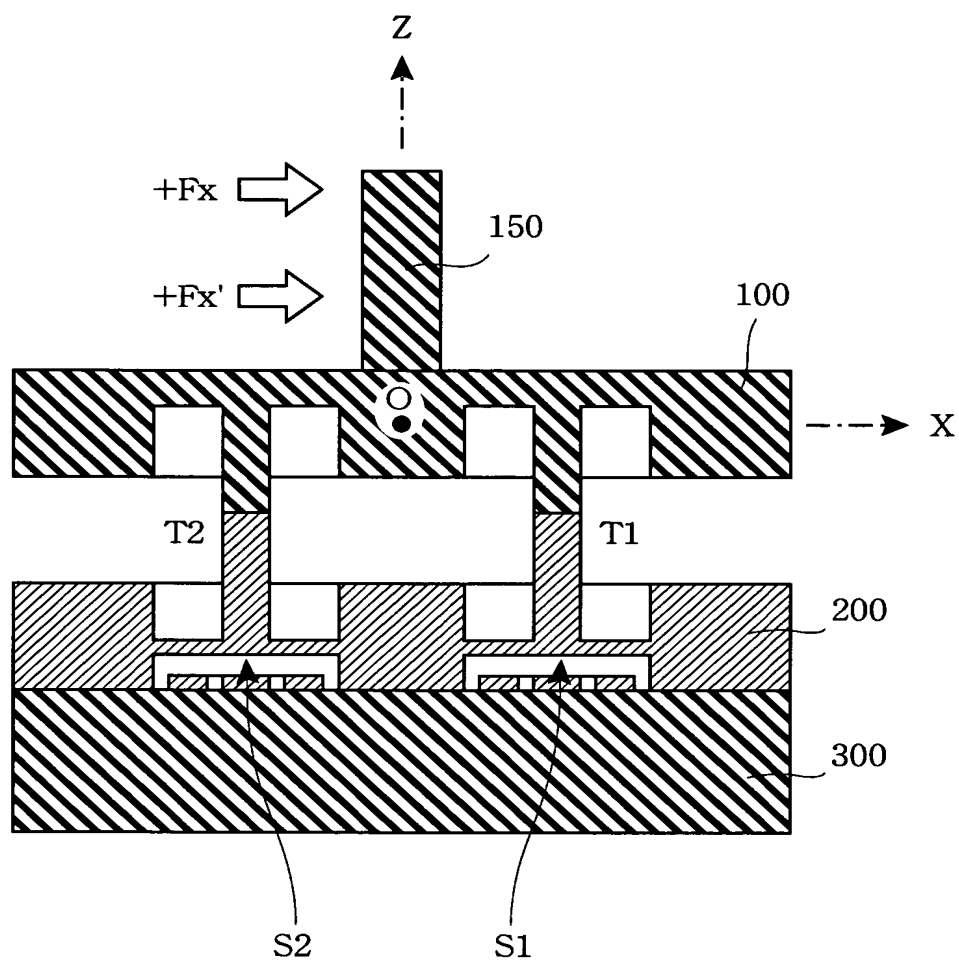
【図 13】

	C11	C12	C13	C14	C15	C21	C22	C23	C24	C25
+Fx	+	-	0	0	0	+	-	0	0	0
-Fx	-	+	0	0	0	-	+	0	0	0
+Fz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-Fz	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
+Mx	0	0	-	+	0	0	0	-	+	0
-Mx	0	0	+	-	0	0	0	+	-	0
+My	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
-My	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
+Mz	0	0	+	-	0	0	0	-	+	0
-Mz	0	0	-	+	0	0	0	+	-	0

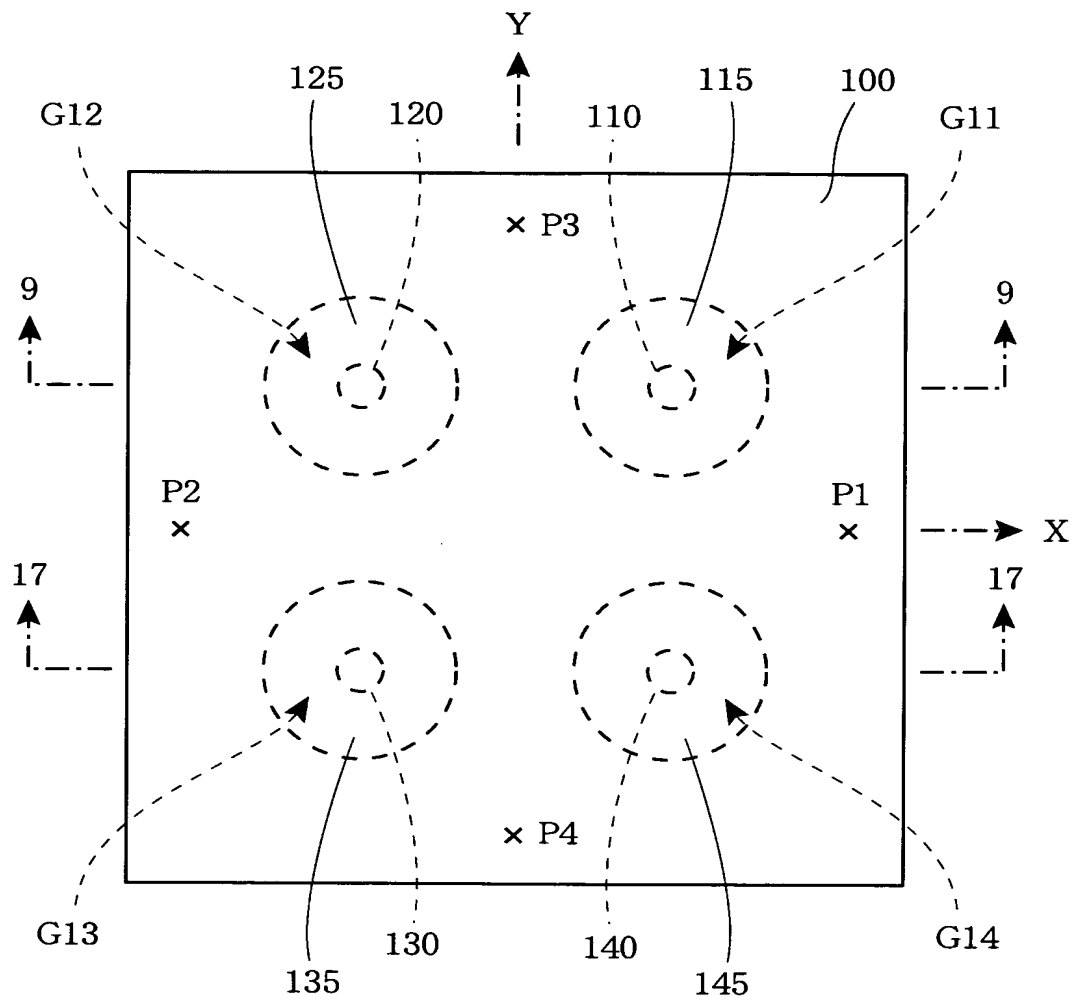
【図 14】



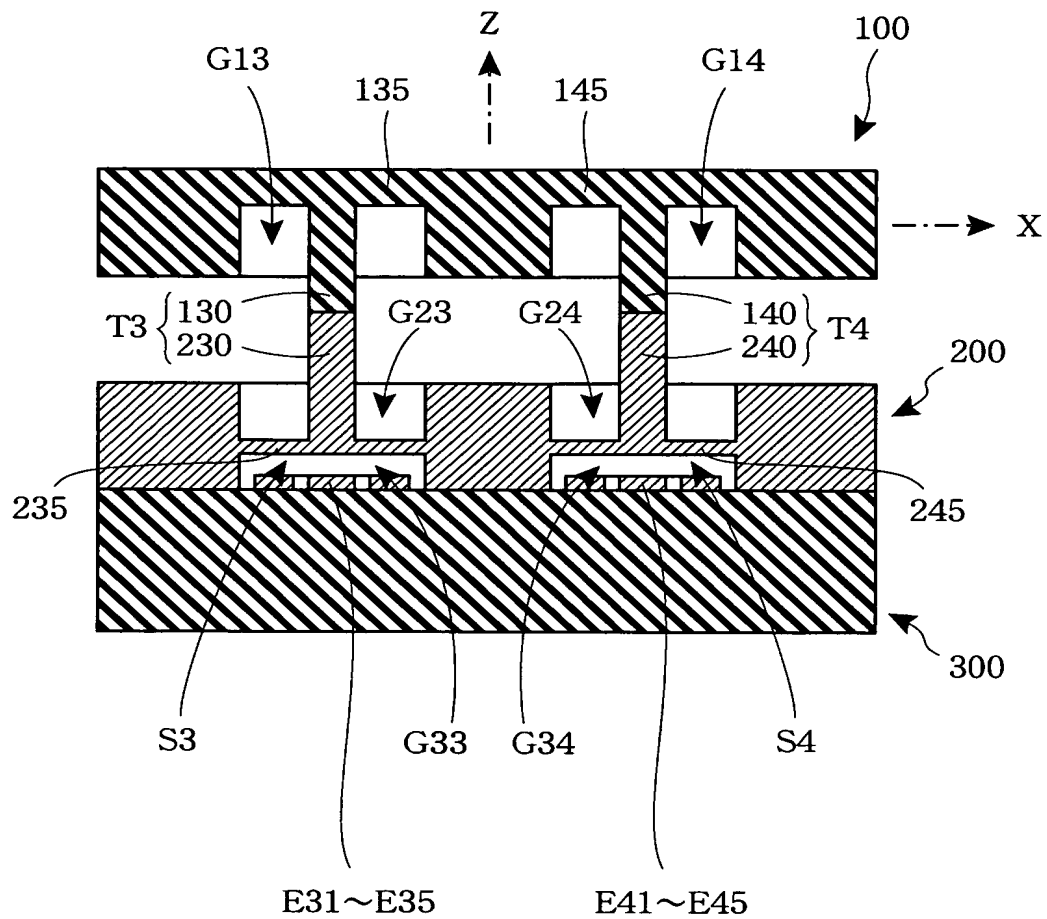
【図 15】



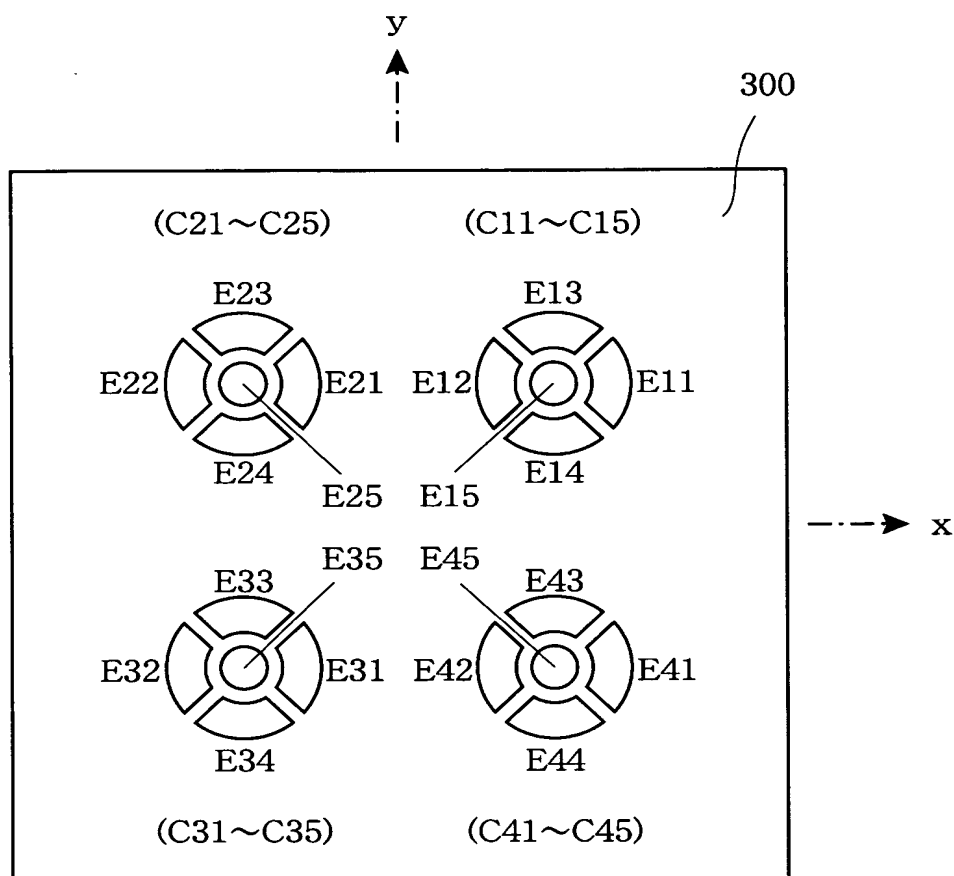
【図 16】



【図 17】



【図 18】



【図 19】

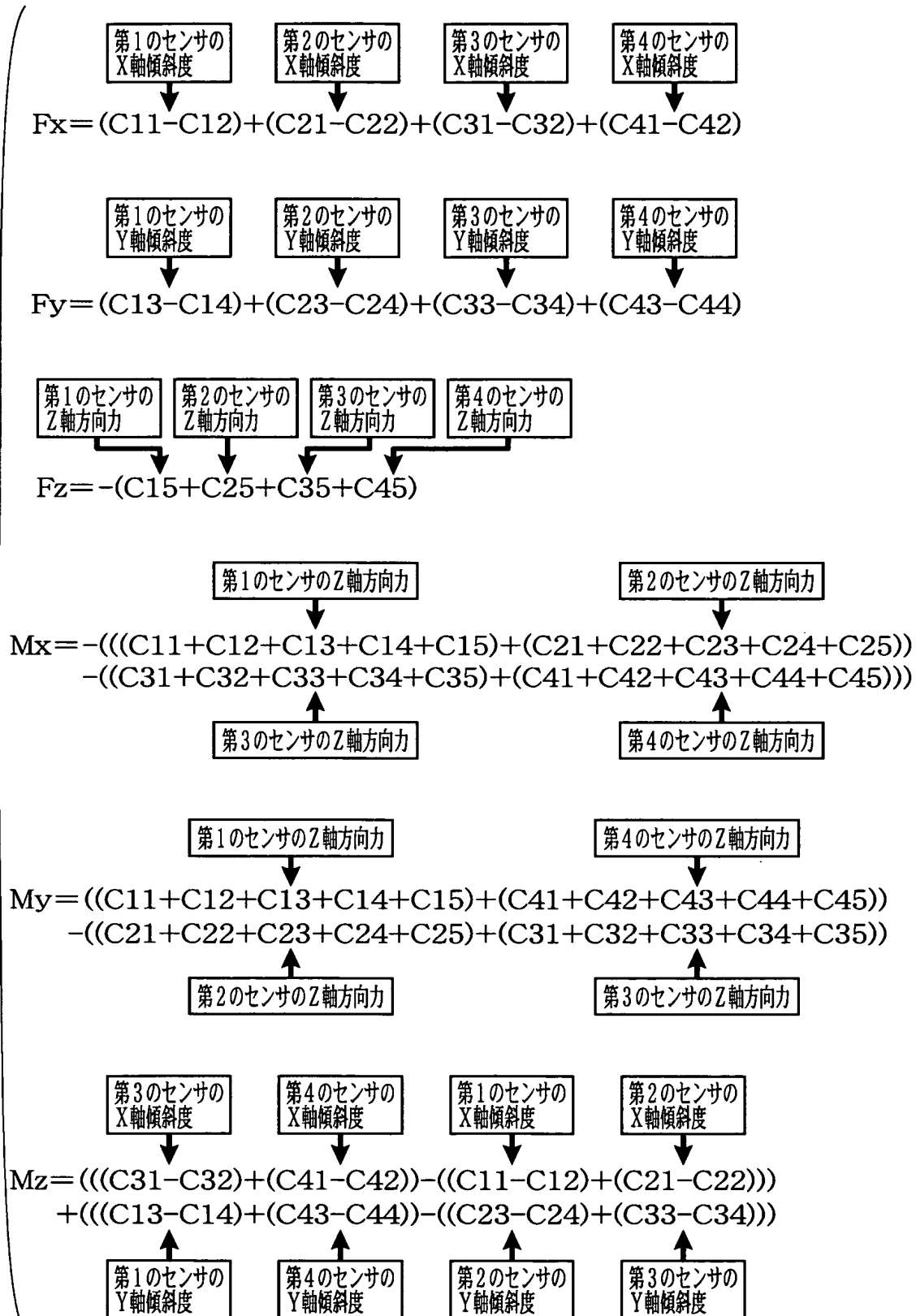
	C11	C12	C13	C14	C15	C21	C22	C23	C24	C25
+Fx	+	-	0	0	0	+	-	0	0	0
+Fy	0	0	+	-	0	0	0	+	-	0
+Fz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
+Mx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
+My	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
+Mz	-	+	+	-	0	-	+	-	+	0

(a)

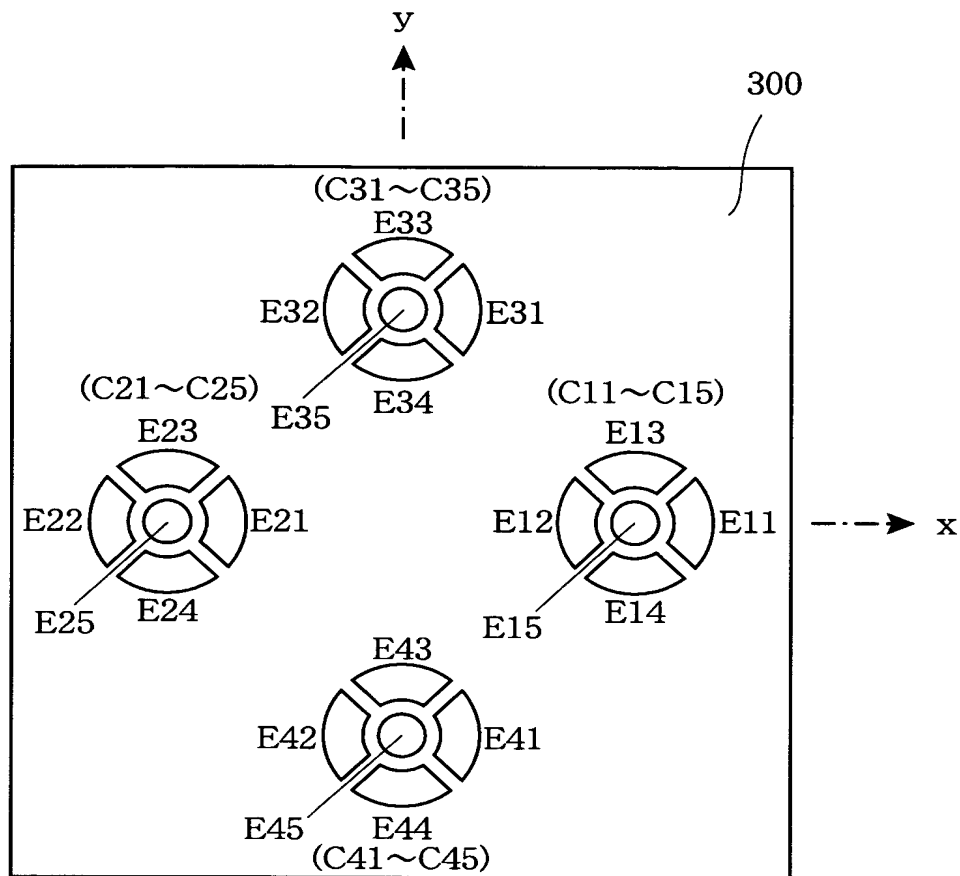
	C31	C32	C33	C34	C35	C41	C42	C43	C44	C45
+Fx	+	-	0	0	0	+	-	0	0	0
+Fy	0	0	+	-	0	0	0	+	-	0
+Fz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
+Mx	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
+My	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
+Mz	+	-	-	+	0	+	-	+	-	0

(b)

【図 20】



【図 21】



【図 22】

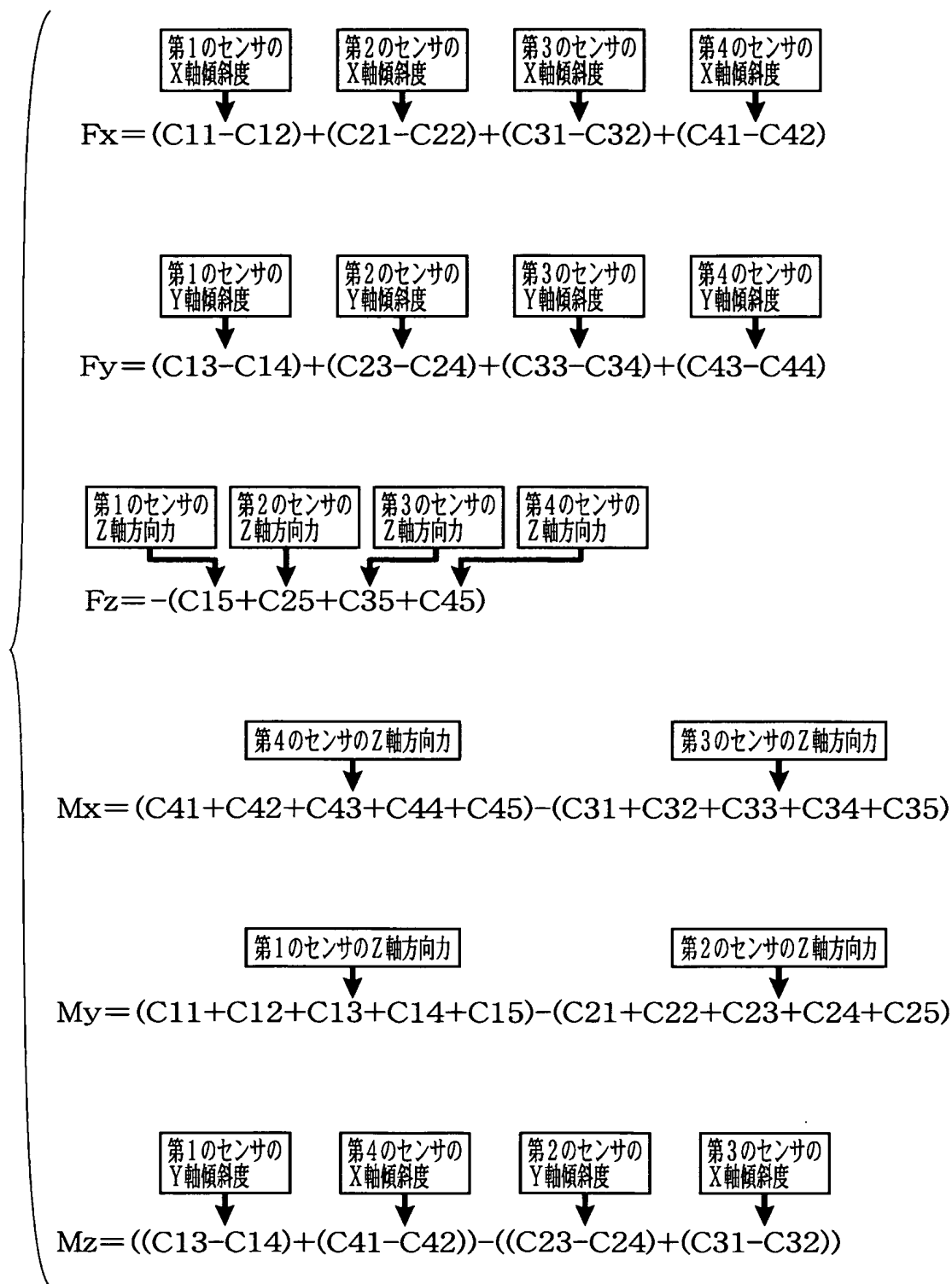
	C11	C12	C13	C14	C15	C21	C22	C23	C24	C25
+Fx	+	-	0	0	0	+	-	0	0	0
+Fy	0	0	+	-	0	0	0	+	-	0
+Fz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
+Mx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+My	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
+Mz	0	0	+	-	0	0	0	-	+	0

(a)

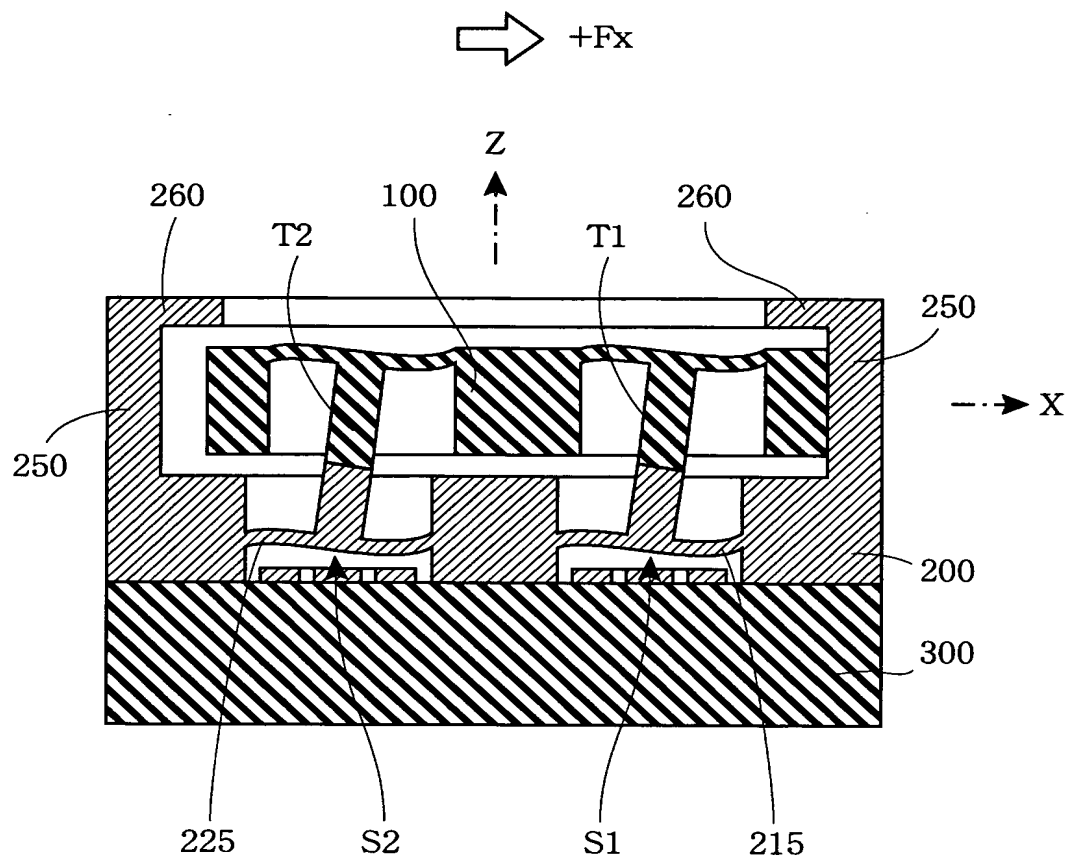
	C31	C32	C33	C34	C35	C41	C42	C43	C44	C45
+Fx	+	-	0	0	0	+	-	0	0	0
+Fy	0	0	+	-	0	0	0	+	-	0
+Fz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
+Mx	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
+My	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+Mz	-	+	0	0	0	+	-	0	0	0

(b)

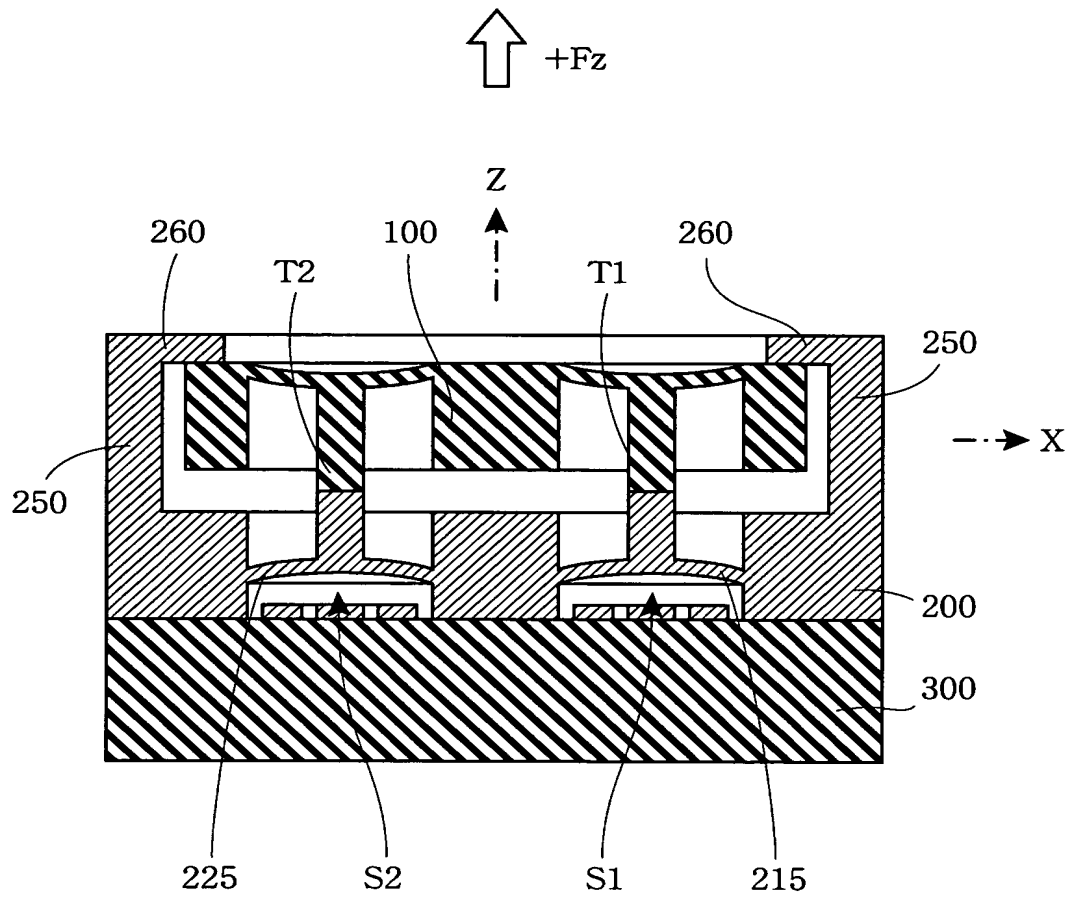
【図 23】



【図 25】



【図 26】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 単純な構造により、力とモーメントとを区別して検出する。

【解決手段】 検出対象となる力を受ける受力体10の下方に支持体20を配置し、両者間に少なくとも2本の柱状力伝達体11, 12を接続する。各柱状力伝達体11, 12の上下両端には、可撓性をもった接続部材を介挿し、受力体10が力を受けて変位したときに、柱状力伝達体11, 12が傾斜できるようにする。各柱状力伝達体11, 12と支持体20との接続部分には、それぞれセンサ21, 22を配置し、各柱状力伝達体11, 12から支持体20へ伝達される力を検出する。センサ21, 22の検出値に基づいて、検出処理部30が、受力体10に作用した力とモーメントとを区別して検出する。4本の柱状力伝達体を用いると、力 F_x , F_y , F_z と、モーメント M_x , M_y , M_z のすべてが検出できる。

【選択図】 図1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 3 - 0 9 6 1 6 7
受付番号	5 0 3 0 0 5 3 4 1 3 2
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0 0 9 0
作成日	平成 1 5 年 4 月 1 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成15年 3月31日
-------	-------------

次頁無

特願 2003-096167

出願人履歴情報

識別番号

[390013343]

1. 変更年月日

1990年11月 1日

[変更理由]

新規登録

住 所

埼玉県上尾市菅谷4丁目73番地

氏 名

株式会社ワコー